

Ísis Portolan dos Santos

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO  
EM PROJETOS DE INTEGRAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA À  
ARQUITETURA

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ricardo Rüther, Ph.D.

Florianópolis  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Ísis Portolan dos  
Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em  
projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura /  
Ísis Portolan dos Santos ; orientador, Ricardo RÜther -  
Florianópolis, SC, 2013.  
278 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Energia solar fotovoltaica. 3.  
Arquitetura sustentável. 4. Ferramenta de apoio à decisão.  
I. RÜther, Ricardo . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
III. Título.

Ísis Portolan dos Santos

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO À  
DECISÃO EM PROJETOS DE INTEGRAÇÃO SOLAR  
FOTOVOLTAICA À ARQUITETURA

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de  
“Doutor em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 15 de março de 2013.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD. - Coordenador do  
Curso

Banca Examinadora:

---

Prof. Ricardo Rütther, Ph.D., Orientador - Universidade Federal  
de Santa Catarina

---

Prof. Dr.-Ing. João Tavares Pinho - Universidade Federal do Pará

---

Prof. Aldomar Pedrini, Ph.D. - Universidade Federal do Rio  
Grande do Norte

---

Prof. Dr. Fernando Simon Westphal - Universidade Federal de  
Santa Catarina

---

Prof. José Ripper Kós, Ph.D. – Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - Universidade Federal de Santa  
Catarina



## **DEDICATÓRIA**

*A Deus  
e aos meus,  
amigos e familiares.*



## AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a muitos que auxiliaram a realização deste trabalho. Ao citar alguns nomes, desejo expressar minha profunda gratidão a todos.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos, obrigado pelas suas companhias, conversas, almoços, jantares, praias, viagens, telefonemas, recados. Cada momento junto com vocês ao longo destes quatro anos foi essencial para ter forças para executar este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Ricardo Rüther, que me apoiou e me incentivou sempre, inclusive nos momentos em que nem mesmo eu acreditava. Admiro sua dedica  o com o ensino, pesquisa e extensão universitária, seu comprometimento com os orientandos e seu incentivo incondicional a todas as nossas atividades acad  micas. Agradeço por me formar nos caminhos da pesquisa e por me orientar em todos os   mbitos da tese (da reda  o à metodologia, das legisla  es aos cálculos). Agradeço também a todos os professores que convivi neste período, em especial à banca deste trabalho; suas considera  es foram fundamentais.

Agradeço imensamente à colega e dupla Clarissa Debiazi Zomer; sem seu auxílio muitas partes deste trabalho não seriam possíveis. Muito obrigado por todo apoio e por muitas vezes ter sido meus pés e minhas mãos em Florianópolis. Agradeço também a todos que compõem a equipe Fotovoltaica-UFSC que contribuíram sempre com dados, considera  es, impressões e apoio. A competência extrema de cada um se traduz no sucesso dos trabalhos do grupo. Agradeço também aos colegas de LabEEE e PPGEC que foram companheiros nestes anos de caminhada.

Agradeço aos bolsistas de inicia  o científica, Fernando Afonso Hartmann e Juliane Gehm que participaram ativamente deste trabalho. Agradeço pelos préstimos e atividades sempre cumpridas no prazo e superando as expectativas. Agradeço a Amanda Silva Simioni que auxiliou na monitoria das disciplinas no último ano do trabalho.

Agradeço aos colegas de trabalho, Prof. Leopoldo Witeck Neto e Prof. Marcelo Ant  nio Rodrigues pelo companheirismo e compreensão durante estes anos. Obrigado pela convivência, pelos momentos de descontra  o e pela pronta disponibilidade em me auxiliarem. Agradeço também pelo apoio de todos os colegas do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. Agradeço também a todos os alunos que me incentivaram com apoio, paciência e compreensão.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio à formação docente e à Universidade Federal de Santa Catarina por proporcionar a realização deste trabalho. Agradeço finalmente ao apoio financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-EREEA), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Tractebel Energia e da Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC).



*“A sutileza humana nunca irá conceber uma invenção mais bela, mais simples ou mais clara do que a natureza, porque em suas invenções nada falta e nada é supérfluo”.*

*(Leonardo da Vinci)*



## RESUMO

A energia solar fotovoltaica possibilita a geração de eletricidade integrada às edificações, mas esta fonte ainda possui umas das menores participações nas matrizes energéticas. Dentre os vários fatores que levam a isto, está o desconhecimento dos profissionais da construção civil, principalmente os arquitetos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma ferramenta de apoio à decisão de projeto que auxilie na composição arquitetônica da integração dos sistemas fotovoltaicos. Para desenvolver a ferramenta foi feito um levantamento das edificações existentes com integração fotovoltaica, observando suas características arquitetônicas. Também foram feitas entrevistas com arquitetos brasileiros para identificar a sua aceitação na utilização da tecnologia fotovoltaica junto à arquitetura e quais conhecimentos gostariam de ter para fazer uso da tecnologia em seus projetos. Esta pesquisa identificou que os arquitetos respondentes têm boa aceitação da tecnologia fotovoltaica enquanto composição formal, mas possuem muitos questionamentos em relação a como obter o melhor desempenho energético do sistema. Um dos principais questionamentos foi quanto à posição de instalação para obter a máxima geração, percebendo-se a existência do dilema entre a 'forma x função' da integração fotovoltaica à arquitetura. Para auxiliar neste desafio foram propostos ábacos para demonstrar as reduções de irradiação em cada orientação e inclinação para as capitais brasileiras. Nestes ábacos foram observadas algumas características similares nos desvios azimutais e modelos de irradiação difusa. A partir das informações trabalhadas a ferramenta foi elaborada na forma de um software que funciona em etapas. Em cada passo o software fornece opções de ações para que o arquiteto faça suas escolhas do modo de integração da tecnologia fotovoltaica à arquitetura. Assim, com a elaboração do software, pretende-se auxiliar no projeto para otimizar desempenho e estética, mostrando que a tolerância na orientação e inclinação do plano dos módulos fotovoltaicos é consideravelmente grande.

**Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, ferramenta de apoio à decisão, arquitetura sustentável.**



## **ABSTRACT**

Photovoltaic solar energy allows clean energy production integrated in buildings, but this source still contributes very little to the world's energy mix. One factor that contributes to this is the lack of knowledge about photovoltaic technology by building planners, especially architects. Therefore, this work aims to design a decision support tool to assist architects in their building integrated photovoltaic projects. To reach this, research about existent building integrated or applied photovoltaics was carried out and each sample was classified by their architectural characteristics. After that, a survey was made with Brazilian architects to identify their acceptance about to use photovoltaic in architecture. The survey also questioned architects about what kind of knowledge they would like to have to make use of photovoltaic in their projects. This research identified that architects have a good acceptance about using photovoltaic in architectural composition, but they have some concerns about the correct orientation and tilt angles necessary to optimize energy generation. This reveal that the architectural dilemma about 'form x function' is also present in building integrated photovoltaic. To assist architects in this issue, colour contours maps were proposed, that quantify irradiation losses in each modules position (azimuth and tilt) for all Brazilian capitals. These maps also took into account the best diffuse irradiation model for each region in Brazil, and how tolerant one can be in establishing acceptable photovoltaic module surfaces orientation and tilt angles. This information was used to design a computer software to assist architects and builders in their building integrated photovoltaic projects. An important conclusion of this work is that very good compromises between optimum energy generation yields and aesthetic appearance can be reached in building integrated photovoltaic projects.

**Keywords: photovoltaic solar energy, decision support tool, sustainable architecture, building integrated photovoltaics.**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mercado fotovoltaico e tipos de instalação fotovoltaica. Fonte: IEA (2010) .....	50
Figura 2 - A integração de sucesso de um BIPV é uma relação simbiótica. Fonte: (Hagemann, 2004) .....	66
Figura 3 – Paolo VI Hall (Fonte: Bahnmoeller - Wikipedia). ....	68
Figura 4 – Estação central de Berlin. Percebem-se os módulos translúcidos no canto superior direito na imagem em contraste com o restante dos vidros transparentes (Fonte: Siemens).....	69
Figura 5- Universidade Trondheim com módulos nas fachadas (fonte: <a href="http://www.ecw.org">http://www.ecw.org</a> ). .....	69
Figura 6 – Instituto Ferdinand-Braun (fonte: <a href="http://www.solarfassade.info">http://www.solarfassade.info</a> ). .....	70
Figura 7 – Na edificação à esquerda é apresentada a integração com as menores notas e à direita é apresentada a integração com as maiores notas (Fonte: MUNARI PROBST e ROECKER, 2007). .....	72
Figura 8 – Integração fotovoltaica na fachada de um edifício em Zurich, considerada como integração de sucesso. Fonte IEA (2010)....	73
Figura 9 – Fluxograma da metodologia de trabalho .....	85
Figura 10 – Gráfico da localização dos exemplares de BIPV à esquerda, e à direita do tipo de utilização destas edificações (de um universo de 325 edificações). .....	106
Figura 11 – Apresentação dos BIPVS, à esquerda em relação à fase construtiva de integração e à direita com a expressão arquitetônica teórica das edificações (de um universo de 325 edificações). .....	106
Figura 12 – À esquerda a visualização dos módulos em relação à face em que estão inseridos, à direita o elemento construtivo onde foram inseridos os módulos fotovoltaicos (de um universo de 325 edificações). .....	107
Figura 13- À esquerda a distribuição da rigidez dos módulos fotovoltaicos, e à direita a transparência dos mesmos (de um universo de 325 edificações). .....	108
Figura 14 – À esquerda gráfico apresentando a característica dos módulos de possuírem moldura ou não. À direita as tecnologias de módulos fotovoltaicos utilizados nas integrações (de um universo de 325 edificações). .....	108
Figura 15 – Presença de materiais construtivos junto aos módulos fotovoltaicos (de um universo de 325 edificações). .....	109
Figura 16 - Formação e atuação dos entrevistados (de uma amostra de 142 pessoas). .....	113

Figura 17 – Distribuição geográfica dos arquitetos participantes da pesquisa (de uma amostra de 142 pessoas).....	114
Figura 18 - Conhecimento sobre energia solar fotovoltaica (de uma amostra de 142 pessoas).....	115
Figura 19 - Importância dos conhecimentos para utilização da tecnologia FV (de uma amostra de 142 pessoas).....	116
Figura 20 - Distribuição dos votos dos arquitetos (de uma amostra de 142 pessoas).....	117
Figura 21 - Etapa do processo projetual a ser considerada a utilização da tecnologia fotovoltaica (de uma amostra de 142 pessoas). .....	118
Figura 22 - Atuação das características das composições demonstrando aquelas características que mais valorizam uma integração fotovoltaica, as que mais depreciam, e também aquelas que são indiferentes, não alterando a composição (de uma amostra de 142 pessoas).....	119
Figura 23 - Integrações analisadas pelos 142 arquitetos entrevistados mostrando uma fotografia da edificação e um desenho esquemático salientando o local da integração fotovoltaica. ....	122
Figura 24 – Gráfico da frequência demonstrando qual integração obteve mais votos como ‘melhor’ integração (de uma amostra de 142 pessoas).....	123
Figura 25 – Frequência dos comentários sobre as edificações classificando-os em comentários positivos, indiferentes ou negativos em relação à integração fotovoltaica na arquitetura (amostra de 142 arquitetos). ....	124
Figura 26 – Resumo dos comentários dos arquitetos (notas de cada edificação considerando o somatório das 142 respostas).....	126
Figura 27 – Distribuição do nível de conhecimento dos arquitetos (autônomos ou com formação complementar) com a tecnologia fotovoltaica. ....	128
Figura 28 – Gráfico com as notas obtidas pelos diferentes aspectos sobre a tecnologia fotovoltaica (amostra de 142 arquitetos). ....	128
Figura 29 – Etapa de projeto na qual devem ser mais utilizados os conhecimentos sobre energia solar fotovoltaica (amostra de 142 arquitetos). ....	129
Figura 30 – Características da integração fotovoltaica na arquitetura e a sua contribuição à edificação (amostra de 142 arquitetos), apresentados em média pelo número de respondentes (66 professores e 76 profissionais autônomos). ....	130



Figura 31 - Opção pela melhor integração fotovoltaica à arquitetura (amostra de 142 pessoas) .....	131
Figura 32 – Diagrama de funcionamento do software.....	136
Figura 33 - Mapa de distribuição dos modelos de estimativa da irradiação difusa com resultados mais próximos às medições do Projeto SWERA.....	142
Figura 34 - Ábaco de Aracaju – SE. As superfícies com inclinações até 20° possuem o mesmo potencial independentemente de sua orientação. Se mantida a orientação ao Norte, são possíveis inclinações de até 30°. Fachadas solares possuem maior aproveitamento se orientadas a Leste e Oeste do que ao Norte, a fachada. Neste local 100% radiação = 5,5 kWh/ m <sup>2</sup> / dia; 2.016 kWh/m <sup>2</sup> /ano), localizado a 10,9°S, 37,1°O. ....	146
Figura 35 - Ábaco de Belém – PA. As superfícies inclinadas até 25° podem ser orientada a qualquer azimute sem perdas significativas de orientação. Fachadas solares são mais favoráveis se orientadas a Leste ou Oeste. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 1.995 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 1,4°S, 48,5°O. ....	146
Figura 36 - Ábaco de Belo Horizonte – MG. Para atingir os maiores níveis de irradiação é necessário que a superfície mantenha uma inclinação até 30° e com variação de azimute entre +60° e -60°. Fachadas Norte ou com azimutes de +60° ou -60° possuem o mesmo aproveitamento da irradiação. Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 2.091 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 19,9°S, 43,9°O. ....	147
Figura 37 - Ábaco de Boa Vista – RR. As superfícies com inclinações de 20° mantêm os maiores ganhos de irradiação independente da orientação. Fachadas solares tem maior geração a Leste ou Oeste do que ao Norte. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 1.949 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 2,8°N, 60,6°O. ....	147
Figura 38 - Ábaco de Brasília – DF. As superfícies inclinadas têm máxima geração quando orientadas ao Norte e inclinadas até 40° ou então quando inclinadas a 10° possuem orientação variando de Leste a Oeste (entre +90° e -90° de azimute). Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 2.079 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 15,8°S, 47,9°O. ....	148
Figura 39 - Ábaco de Campo Grande – MS. Para obter a máxima irradiação é necessário que as superfícies tenham inclinação até 30° e orientação entre +60° e -60°. As fachadas possuem o mesmo aproveitamento de irradiação se orientadas entre azimute +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 5,8 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 2.126 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 20,4°S, 54,6°O. ....	148

Figura 40 - Ábaco de Cuiabá – MT. As superfícies de geração tem maior aproveitamento solar quando orientadas entre Leste e Oeste (azimute entre  $+90^\circ$  e  $-90^\circ$ ) com inclinação até  $20^\circ$ , ou quando orientadas ao Norte com inclinação até  $40^\circ$ . As fachadas possuem aproveitamento similar com orientações que variam de Leste a Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.054 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $15,6^\circ\text{S}$ ,  $56,1^\circ\text{O}$ . ..... 149

Figura 41 - Ábaco de Curitiba – PR. Os melhores aproveitamentos da irradiação ocorrem quando as superfícies estão orientadas entre os azimutes  $+60^\circ$  e  $-60^\circ$  e inclinadas entre  $5^\circ$  e  $30^\circ$ . As fachadas solares possuem melhor aproveitamento quando orientadas entre  $+60^\circ$  e  $-60^\circ$ . Neste local 100% de radiação = 4,9 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.798 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $25,4^\circ\text{S}$ ,  $49,2^\circ\text{O}$ . ..... 149

Figura 42 - Ábaco de Florianópolis – SC. Os maiores ganhos de irradiação ocorrem em superfícies orientadas entre os azimutes  $+60^\circ$  e  $-60^\circ$  e com inclinação entre  $5^\circ$  e  $30^\circ$ . As fachadas solares têm melhores desempenhos quando orientadas entre  $+60^\circ$  e  $-60^\circ$ . Neste local 100% de radiação = 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.741 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $27,5^\circ\text{S}$ ,  $48,5^\circ\text{O}$ . ..... 150

Figura 43 - Ábaco de Fortaleza – CE. Os maiores ganhos de irradiação ocorrem em superfícies inclinadas até  $25^\circ$ , independente de seu azimute. Dentre as fachadas solares, as orientadas a Leste ou Oeste terão melhor desempenho do que aquelas orientadas ao Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.072 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $3,7^\circ\text{S}$ ,  $38,5^\circ\text{O}$ . ..... 150

Figura 44 - Ábaco de Goiânia – GO. Os maiores níveis de irradiação são obtidos na orientação entre Leste e Oeste (passando pelo Norte) e inclinadas até  $15^\circ$ . Também é possível ganhos similares com orientações mais próximas ao Norte e inclinação até  $30^\circ$ . As fachadas orientadas entre o Leste, Norte e Oeste têm desempenho equivalente. Neste local 100% de radiação = 5,9 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.166 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $16,6^\circ\text{S}$ ,  $49,2^\circ\text{O}$ . ..... 151

Figura 45 - Ábaco de João Pessoa – PB. Para esta cidade qualquer orientação de superfície (desde que inclinada até  $20^\circ$ ) apresenta os maiores ganhos de irradiação. No caso das fachadas, aquelas orientadas a Leste ou Oeste terão melhor desempenho que aquelas orientadas ao Norte ou ao Sul. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.979 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $7,1^\circ\text{S}$ ,  $34,8^\circ\text{O}$ . ..... 151

Figura 46 - Ábaco de Macapá – AP. As maiores gerações são encontradas em superfícies inclinadas até  $25^\circ$ , independentemente da

orientação a que se encontrem. Nas fachadas solares, as fachadas Leste e Oeste possuem maior geração que a fachada Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.979 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 0,03°N, 51,1°O..... 152

Figura 47 - Ábaco de Maceió – AL. Até 20° de inclinação é possível que as superfícies recebam o máximo de geração para o local, independentemente da orientação. Se a inclinação for de 30° a orientação deve estar entre +60° e -60° para atingir os maiores níveis. As fachadas solares são mais vantajosas a Leste e Oeste do que ao Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.949 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 9,6°S, 35,7°O. .... 152

Figura 48 - Ábaco de Manaus - AM. Neste caso as superfícies com inclinação até 25° tem máxima irradiação independentemente de sua orientação. As fachadas solares recebem mais irradiação se estiverem a Leste ou Oeste em detrimento do Norte e Sul. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.885 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 3,1°S, 60°O. .... 153

Figura 49 - Ábaco de Natal – RN. As superfícies com inclinação até 25° tem máxima irradiação independentemente de sua orientação. As fachadas solares são recebem mais irradiação se estiverem a Leste ou Oeste em detrimento do Norte e Sul. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2,006 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 5,7°S, 35,2°O. .... 153

Figura 50 - Ábaco de Palmas – TO. Para receber a máxima irradiação é indicado que as superfícies estejam inclinadas até 10° para qualquer orientação, ou que orientadas entre Leste e Oeste (-90° e +90°) possuam inclinação de até 25°. As fachadas solares possuem o mesmo desempenho a Leste, Oeste e Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.043 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 10,1°S, 48,3°O. .... 154

Figura 51 - Ábaco de Porto Alegre – RS. Nesta cidade é necessária a orientação entre +60° e -60° de azimute e uma inclinação entre 10 e 30° para a obtenção dos maiores níveis de irradiação. Para fachadas, os maiores níveis de irradiação são encontrados na fachada Norte, com variação de +60° ou -60°. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.870 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 30°S, 51,2°O. .... 154

Figura 52 - Ábaco de Porto Velho – RO. É possível receber os maiores níveis de irradiação com inclinações até 15°, independente da orientação. Nas fachadas solares os níveis de irradiação são similares para fachadas orientadas de Leste a Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.920 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 8,7°S, 63,9°O..... 155

Figura 53 - Ábaco de Recife – PE. As máximas radiações são recebidas por superfícies em qualquer orientação desde que inclinadas até 20°. As fachadas solares recebem maior irradiação quando orientadas a Leste ou Oeste, em detrimento do Norte. Neste local 100% de radiação = 5,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.915 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 8°S, 34,8°O..... 155

Figura 54 - Ábaco de Rio Branco – AC. Para obter os maiores níveis de irradiação é necessário manter a inclinação até 15° com qualquer orientação, ou então inclinações até 30° a orientação deve se manter entre Leste e Oeste. As fachadas solares tem desempenho similar em qualquer orientação entre Leste e Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.925 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 9,9°S, 67,8°O. .... 156

Figura 55 - Ábaco do Rio de Janeiro – RJ. Nesta cidade os maiores níveis de irradiação se mantêm próximos à orientação Norte (desvio entre +60° e -60°) e inclinação até 30°. As fachadas solares são mais vantajosas a Norte ou com desvio azimutal entre +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.878 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 22,9°S, 43,2°O..... 156

Figura 56 - Ábaco de Salvador. Os maiores níveis de irradiação são encontrados para qualquer orientação desde que mantida a inclinação de até 15°. As fachadas solares possuem maior recebimento de irradiação a Leste ou Oeste, em detrimento do Norte. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.002 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 12,9°S, 38,5°O. .... 157

Figura 57 - Ábaco de São Luis – MA. As máximas radiações são obtidas em qualquer azimute com inclinação de até 25°. As fachadas solares possuem melhor desempenho a Leste ou Oeste do que a Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.035 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 2,5°S, 44,3°O..... 157

Figura 58 - Ábaco de São Paulo – SP. Neste local as máximas de irradiação são obtidas em azimute entre -60° e +60° e com inclinação entre 5° e 30°. As fachadas solares possuem melhor desempenho ao Norte ou com desvios azimutais entre +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.849 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 23,5°S, 46,6°O..... 158

Figura 59 - Ábaco de Teresina – PI. As máximas de irradiação ocorrem com superfícies inclinadas até 20°, independente de seu azimute. Nas fachadas, aquelas orientadas a Leste e Oeste tem maior geração que aquelas orientadas a Norte ou Sul. Neste local 100% de

radiação = 5,8 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 2.106 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 5°S, 42,5°O. .....	158
Figura 60 - Ábaco de Vitória – ES. A máxima irradiação é encontrada pelos módulos inclinados até 20° e com orientação de Leste a Oeste. As fachadas possuem desempenho semelhante orientadas de Leste a Oeste passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,0 kWh/m <sup>2</sup> /dia; 1.841 kWh/m <sup>2</sup> /ano, situado em 5,5°S, 42,5°O. ....	159
Figura 61 – Mapa apresentando as capitais e suas características de posicionamento dos módulos para os maiores ganhos de radiação.	163
Figura 62 - Posição das instalações no ábaco.....	166
Figura 63 – Irradiação diária mensal recebida pelos sistemas em comparação com a irradiação indicada pelo ábaco (1).....	168
Figura 64 – Radiação recebida pelos quatro sistemas analisados. .....	172
Figura 65 – À esquerda as tecnologias cadastradas e à direita as faixas de potências. ....	174
Figura 66 – Faixas de potência em que se encaixam os 132 módulos analisados. ....	174
Figura 67 – Distribuição das dimensões dos módulos fotovoltaicos.....	175
Figura 68 –Faixa de peso dos módulos.....	176
Figura 69 – Relação entre o peso dos módulos e a área ocupada .....	177
Figura 70 – Frequência de presença de moldura nos módulos .	178
Figura 71 – Frequência da faixa de potência dos módulos cadastrados .....	178
Figura 72 – Frequência da aparência da coloração dos módulos .....	179
Figura 73 – Configuração final da estrutura de funcionamento da ferramenta .....	192



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiências medidas em STP de módulos comerciais. Adaptada de (GREEN <i>et al.</i> , 2012).....	42
Tabela 2 – Tipos de integração arquitetônica FV. Adaptado de (THOMAS, 1999) com imagens de (ISAAC, 2011).....	59
Tabela 3 – Critérios estéticos da integração arquitetônica. Adaptado de Schoen <i>et al.</i> (2001).....	65
Tabela 4 – Integrações BIPV consideradas de sucesso na Austrália, por Prasad e Snow (2004).....	74
Tabela 5 – Exemplos de integrações consideradas de sucesso na Alemanha por Hagemann (2004).....	76
Tabela 6 – Ficha de identificação do BIPV.....	88
Tabela 7 – Caracterização dos exemplares de BIPV.....	98
Tabela 8 – Classificação dos módulos fotovoltaicos.....	99
Tabela 9 – Distribuição dos questionários.....	111
Tabela 10 – Análise do modelo de irradiação difusa do Software Radasol em relação à medição de irradiação inclinada indicada pelo Projeto SWERA. As cores demonstram a variação, até 0,5%, até 1%, até 2%, até 5% e acima de 5%.....	140
Tabela 11 – Definição da inclinação com máxima média diária de irradiação utilizando o software Radasol.....	144
Tabela 12 – Recomendações de incidência de irradiação.....	161
Tabela 13 – Características dos sistemas analisados.....	165
Tabela 14 – Irradiação recebida pelos sistemas fotovoltaicos..	166
Tabela 15 – Análise estatística das radiações recebidas pelos sistemas.....	169
Tabela 16 – Análise estatística das gerações produzidas pelos sistemas.....	170
Tabela 17 – Comparação entre as irradiações recebidas pelos quatro sistemas analisados.....	171
Tabela 18 - Cadastro do banco de dados BIPV.....	181
Tabela 19 – Cadastro do banco de dados dos módulos fotovoltaicos.....	182
Tabela 20 – Banco de dados dos ábacos de irradiação.....	184
Tabela 21 – Campos de referência, indicação do responsável pelo preenchimento e cálculo realizado.....	185
Tabela 22 – Apresentação do módulo base criado para ser utilizado como valor médio nos cálculos do software quando o usuário não quiser selecionar um módulo real.....	190
Tabela 23 – Alterações nas fórmulas utilizadas pelo software.....	191





## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>29</b>
1.1. TEMA .....	30
1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	32
1.3. OBJETIVOS .....	33
<b>1.3.1. Objetivo geral</b> .....	<b>33</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>33</b>
1.4. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIAS DO TRABALHO .....	33
1.5. INEDITISMO E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA .....	35
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>37</b>
2.1. FONTES RENOVÁVEIS E A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....	37
<b>2.1.1. Sistemas conectados à rede</b> .....	<b>47</b>
<b>2.1.2. Mercado fotovoltaico</b> .....	<b>49</b>
2.2. INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA .....	54
2.3. FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO DE PROJETO ...	80
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>85</b>
3.1. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE BIPVS .....	87
3.2. ENTREVISTAS COM ARQUITETOS SOBRE INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA NA ARQUITETURA .....	89
3.3. FORMULAÇÃO DA FERRAMENTA .....	96
<b>3.3.1. Verificação das posições de instalação</b> .....	<b>100</b>
3.4. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA .....	102
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>105</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO ARQUITETÔNICA DOS BIPV .....	105
4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS ARQUITETOS .....	110
4.3. ELABORAÇÃO DO ESCOPO DA FERRAMENTA .....	132
<b>4.3.1. Elaboração dos ábacos de irradiação</b> .....	<b>138</b>
<b>4.3.2. Validação dos ábacos de irradiação</b> .....	<b>164</b>
<b>4.3.3. Caracterização dos módulos fotovoltaicos</b> .....	<b>173</b>
4.4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA NA FORMA DE SOFTWARE .....	179
4.5. VALIDAÇÃO E TESTE DA FERRAMENTA .....	188
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>195</b>
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	202
<b>6. PUBLICAÇÕES NO AMBITO DESTE TRABALHO</b> .....	<b>203</b>
6.1. PUBLICAÇÕES EM PERIÓDICOS .....	203
6.2. TRABALHOS COMPLETOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS .....	203

6.3. RESUMOS EXPANDIDOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS.....	204
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>205</b>
<b>APÊNDICE A – Questionário aplicado aos arquitetos.....</b>	<b>215</b>
<b>APÊNDICE B – Listagem de caracterização dos BIPVs.....</b>	<b>219</b>
<b>APÊNDICE C – Listagem de caracterização dos módulos fotovoltaicos.....</b>	<b>239</b>
<b>APÊNDICE D – Detalhes das integrações utilizadas no questionário aos arquitetos.....</b>	<b>249</b>
<b>APÊNDICE E – Apresentação de um projeto realizado na ferramenta proposta na forma de um software.....</b>	<b>263</b>
<b>ANEXO 1- Formulário similar aplicado por outro pesquisador..</b>	<b>273</b>

## **PREFÁCIO**

O trabalho descrito nesta tese foi elaborado no âmbito do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A pesquisa aplicada com questionários foi obtida exclusivamente para esta tese de acordo com o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH-UFSC), com registro 2307/11. Outros dados, materiais e experimentos foram apoiados pelo grupo Fotovoltaica-UFSC e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).

A pesquisa apresentada é original e foi produzida por mim, exceto quando citadas as referidas autorias.

Ísis Portolan dos Santos  
Abril de 2013



## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade ambiental é um dos temas mais debatidos na atualidade, atingindo diversas áreas das atividades humanas. A sustentabilidade ambiental prima pela utilização racional dos recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas atuais, sem comprometer os recursos para as gerações futuras. Esta temática surgiu a partir da ocorrência de desastres naturais, relacionando-os à degradação ambiental causada pelas atividades humanas. O aquecimento do planeta, os buracos na camada de ozônio, as inundações e as secas, têm sido creditadas à exploração de ecossistemas e a poluição ambiental. A sustentabilidade aponta um caminho com soluções a esses problemas, com a utilização racional dos recursos e garantia de abastecimento às atividades humanas.

A construção civil é uma das atividades que tem se modificado para respeitar os princípios da sustentabilidade, isto porque são nas edificações onde ocorre grande parte das ações humanas que demandam recursos naturais. Deste modo, tanto na construção da edificação como na utilização da mesma, devem ser buscadas tecnologias para diminuir os impactos ao meio ambiente. Para o abastecimento sustentável das edificações e atividades humanas existem as energias renováveis, que possibilitam a geração de energia elétrica a partir de fontes pouco poluentes e com maior renovação.

As energias renováveis permitem a manutenção das atividades humanas atuais, extremamente dependentes de eletricidade, sem utilizar os combustíveis fósseis consumidos nas matrizes energéticas convencionais. Os combustíveis fósseis como o carvão, petróleo ou gás natural, apresentam estoques finitos, liberam gases poluentes na sua combustão e ainda ocasionam degradação ambiental na sua extração. Já as energias renováveis permitem a geração de energia a partir de fontes com alta taxa de renovação, com menor emissão de gases poluentes e também menor impacto ambiental na sua extração. Deste modo, a geração elétrica a partir de fontes renováveis permite a utilização de uma energia menos poluente para o funcionamento das edificações, diminuindo o impacto ambiental da sociedade.

Com os avanços tecnológicos também é possível que as edificações possuam geradores de energia instalados no corpo da construção, produzindo parte ou toda energia que consomem, ou até mesmo que sejam edifícios de energia positiva, que geram mais energia do que consomem. Os conceitos ZEB, ou *Zero Energy Buildings* e EPB, ou *Energy Positive Buildings*, trabalham com esta questão, buscando o equilíbrio entre consumo e geração no mesmo edifício. Isto permite que

as edificações diminuam ainda mais seu impacto ambiental, gerando a sua própria energia ou contribuindo para a energia consumida na cidade. A opção de geração energética na própria edificação tem sido altamente incentivada por programas de certificação ambiental de edifícios. Programas como o AQUA, o LEED e o Programa Brasileiro de Etiquetagem do PROCEL avaliam com melhores pontuações as edificações que possuem em sua construção um sistema de geração de energia elétrica de fonte renovável. Além dos programas de certificação, ainda ocorrem em diversos países programas específicos de incentivo à geração particular, onde a energia elétrica gerada pela edificação é vendida à rede pública por uma tarifa mais alta que o valor da tarifa convencional.

Dentre as tecnologias que permitem a geração de energia elétrica na edificação, a tecnologia fotovoltaica (FV) é uma das mais incentivadas. Esta tecnologia permite a geração de energia elétrica diretamente da luz solar, através de lâminas de determinados materiais semicondutores instaladas em qualquer local ensolarado da edificação. A geração fotovoltaica não ocasiona ruído ou emissões de gases em seu funcionamento e necessita pouca manutenção. Os geradores fotovoltaicos podem ser instalados nas coberturas das edificações, local que comumente recebe maior insolação, com a instalação dos módulos ligados por cabos condutores até um equipamento (inversor) que converte a energia gerada na frequência e tensão da rede e conecta o gerador solar fotovoltaico ao sistema público de distribuição de energia elétrica.

A integração de módulos fotovoltaicos às edificações apresenta vantagens pela geração de energia renovável e também pela geração junto a um ponto de consumo, que é a própria edificação. Assim, pesquisas nesta área visam contribuir à disseminação da utilização desta tecnologia. O presente trabalho está focado na composição arquitetônica da integração dos módulos fotovoltaicos às edificações e as consequências desta integração no desempenho do gerador fotovoltaico, buscando propor uma ferramenta que auxilie para que as integrações fotovoltaicas feitas por arquitetos resultem em instalações com qualidade na forma e na função.

### 1.1. TEMA

O tema deste trabalho é a aplicação da energia solar fotovoltaica no envelope da edificação. A tecnologia fotovoltaica é uma tecnologia estabelecida e presente em vários países do mundo, com participação crescente nas matrizes energéticas de alguns países europeus. A

tecnologia fotovoltaica pode ser instalada, em princípio, em qualquer local, seja sobre o solo ou sobre uma edificação, com a preocupação de que receba grande quantidade de irradiação. As instalações em edificações vêm ganhando espaço no mercado e são apontadas como o futuro da tecnologia, já que as instalações integradas à edificação não utilizam áreas livres, mas sim áreas já em uso. Outra grande vantagem das instalações em edificações é a geração junto ao ponto de consumo, gerando energia para a rede de baixa ou média tensão em nível de distribuição, eliminando os custos associados à transmissão de energia que são necessários nas grandes centrais geradoras. A geração fotovoltaica integrada à edificação é chamada de BIPV (sigla em inglês para *building integrated photovoltaics*), e tem sido foco de vários estudos internacionais.

A integração da tecnologia fotovoltaica à edificação como material de revestimento é possível e frequentemente executada, o que tem ocasionado questionamentos e desenvolvimentos tanto na área técnica dos módulos fotovoltaicos, quanto na concepção arquitetônica da edificação. Os BIPVs são conceitualmente integrações elaboradas durante a fase de projeto da edificação, ou seja, consideram os módulos como parte do envelope, e não como uma alteração posterior com adição de elementos a um edifício já construído. Estas instalações posteriores ou adaptadas à edificação são classificadas como BAPV (do inglês *building applied photovoltaics*). Quando os módulos são considerados parte da edificação, é necessário que haja uma concepção formal na composição desses elementos com o restante da construção, além da qualidade técnica. Muitas das integrações existentes ainda consideram os módulos apenas como equipamento para geração de energia, sem preocupação com a composição da edificação, o que tem resultado em integrações não satisfatórias. Esses tipos de integrações acabam sendo uma barreira à disseminação da tecnologia FV, porque vinculam a imagem dos módulos a arquiteturas com estética muitas vezes duvidosa. A integração fotovoltaica com qualidade formal é possível e já realizada em muitos casos, contribuindo para a valorização da tecnologia e também da edificação. Ao realizar um BIPV considerando a composição técnica e formal, a edificação, além da contribuição com a sustentabilidade pelo uso de uma tecnologia de geração renovável, também resultará em um exemplar arquitetônico de qualidade.

## 1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A tecnologia fotovoltaica já está estabelecida, mas ainda tem muito a crescer para estar difundida no mercado. O custo é comumente apresentado como principal barreira à difusão, mas outros fatores como o desconhecimento de profissionais e usuários em relação à composição arquitetônica das integrações fotovoltaicas também dificultam o crescimento da tecnologia. Essa insatisfação com a tecnologia ocorre devido às instalações feitas, que apenas aplicam os módulos em qualquer face ensolarada, utilizando a edificação como um apoio para o funcionamento dos módulos, criando os edifícios com aplicação fotovoltaica (BAPV). Essas instalações podem resultar em composições visuais desagradáveis, podendo criar uma composição que altera de modo negativo a proposta visual original da edificação, criando preconceito por parte dos arquitetos.

A tecnologia fotovoltaica pode ser integrada diretamente na edificação e necessita de um investimento financeiro considerável para sua aquisição. Geralmente os investidores desta tecnologia frequentemente são pessoas com conhecimento e preocupação ambiental que visam diminuir o impacto de suas atividades ao meio ambiente. Pelo seu custo de investimento inicial, a tecnologia FV é aplicada em grande parte dos casos em edificações também de alto valor, ou seja, onde os proprietários são investidores preocupados com o desempenho global da edificação. Deste modo, os investidores da tecnologia possuem preocupação ambiental, alto poder aquisitivo (ou financiamentos) e também se preocupam com as características visuais e estética de suas edificações. Além dos grandes investidores, os com menos recursos, como por exemplo, os residenciais, também têm preocupações com a instalação FV, já que não desejam comprometer a imagem de suas casas com a utilização de um equipamento alheio à composição arquitetônica. Assim, é necessário que a instalação da tecnologia FV evolua também na questão da composição arquitetônica, para que possa cativar clientes em potencial.

Assim, se a integração fotovoltaica e o desconhecimento dos profissionais ainda são barreiras à disseminação da tecnologia, este trabalho busca identificar as especificidades deste desconhecimento e propor alternativas que auxiliem a integração. Este trabalho se propõe a estudar a tecnologia fotovoltaica e suas possibilidades técnicas aliadas às necessidades da composição arquitetônica, visando fornecer possibilidades de integração para que as integrações fotovoltaicas contribuam para a composição arquitetônica das edificações, além da qualidade técnica.



### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão de projeto que auxilie na integração arquitetônica de sistemas fotovoltaicos.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Analisar as ocorrências da integração fotovoltaica à arquitetura, verificando quais as tecnologias disponíveis e os modos de integração que têm sido utilizados atualmente, para identificar as características das edificações com integração fotovoltaica (BIPV) no Brasil e no mundo.
- Identificar a percepção dos arquitetos sobre a tecnologia fotovoltaica, em relação às suas possibilidades técnicas e à composição arquitetônica dos BIPV, para identificar quais as necessidades desses profissionais e orientar a elaboração da ferramenta.
- Identificar o funcionamento e as possibilidades das ferramentas de apoio à decisão de projeto de sistemas fotovoltaicos, para definir a estrutura de funcionamento da ferramenta sobre integração fotovoltaica à arquitetura.
- Analisar e desenvolver as necessidades apontadas pelos arquitetos sobre as características das edificações e dos módulos fotovoltaicos, para serem incluídas na ferramenta de apoio ao projeto de integração fotovoltaica.
- Elaborar a ferramenta na forma de um software, contemplando as necessidades apontadas pelos arquitetos, para auxiliar os profissionais nas definições da integração da tecnologia fotovoltaica à arquitetura.

### 1.4. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIAS DO TRABALHO

A energia solar fotovoltaica ainda possui pouca disseminação, com um dos menores percentuais de contribuição nas matrizes energéticas. Isto se deve a vários fatores: custo elevado, falta de políticas públicas e de incentivos e algumas barreiras tecnológicas e de difusão do conhecimento (IEA, 2010). Entre as barreiras de conhecimento está a falta de informação dos profissionais que atuam no setor da construção civil, que não utilizam a tecnologia fotovoltaica por desconhecerem suas possibilidades.

A participação limitada dos arquitetos (ou engenheiros comprometidos com a integração arquitetônica) nos projetos de integração fotovoltaica em edificações tem gerado projetos em que os módulos situam-se como elementos alheios à composição formal. Deste modo contribui-se à crença de que a instalação fotovoltaica deprecia a composição arquitetônica da edificação, fazendo com que outros possíveis clientes desinteressem-se pela tecnologia.

No Brasil, a tecnologia FV é ainda menos difundida e grande parte dos arquitetos pode nem saber o significado da palavra fotovoltaico. Esses profissionais podem não trabalhar com sistemas fotovoltaicos por não saberem das possibilidades tecnológicas da integração, ou por receio de que a utilização dos módulos comprometa suas composições de forma e fachada. Isso pode ser mudado através de uma ferramenta de apoio às decisões de projeto, que direcione o arquiteto no momento da escolha de como realizar a integração, apresentando casos já realizados e necessidades da tecnologia, que poderão interferir na composição arquitetônica, como a necessidade de irradiação solar e características construtivas dos módulos.

Quanto à utilização específica da tecnologia fotovoltaica, já existem vários programas computacionais que funcionam como ferramenta de apoio aos projetos. No entanto, estes programas são em sua maioria voltados à estimativa de geração energética a ser obtida a partir da instalação do sistema. Os dados que os programas fornecem são de irradiação solar para o local, possibilidades de módulos existentes no mercado, inversores disponíveis, opções de arranjo da conexão elétrica, dentre outros, mas em relação à integração arquitetônica os programas não oferecem respostas, pois não consideram o envelope da edificação e nem seus materiais de vedação. A ferramenta de apoio ao projeto que este trabalho propõe não inclui as informações que podem ser fornecidas por outros programas, principalmente relacionadas à parte elétrica do sistema.

A expressão da composição arquitetônica é resultante dos volumes da edificação, seus materiais e elementos, e das relações entre eles. Assim, estas informações devem ser consideradas no programa de apoio à decisão arquitetônica em relação à integração fotovoltaica. Esta ferramenta fornece auxílio para definição da face de posicionamento dos módulos, orientação para escolha do tipo de módulo e visualização de projetos existentes de integração fotovoltaica.

O estudo está focado na qualificação do trabalho do arquiteto, fornecendo a esse profissional uma base técnica sobre as possibilidades e limitações da tecnologia fotovoltaica, auxiliando-o na composição formal da integração fotovoltaica. A partir das sugestões apresentadas

pela ferramenta, o arquiteto a utilizará como base e deverá acrescentar seus conhecimentos específicos para maiores definições e especificações, colaborando em um projeto arquitetônico com qualidade de composição e desempenho técnico.

Deste modo, a justificativa para a execução deste trabalho é reunir informações da composição arquitetônica e da tecnologia fotovoltaica, para facilitar a integração arquitetônica dos módulos fotovoltaicos na edificação e eliminar uma das barreiras de disseminação da tecnologia: do desconhecimento por parte dos arquitetos. Esta ferramenta pode auxiliar na qualidade dos projetos de integração fotovoltaica, contribuindo para a divulgação da tecnologia junto aos profissionais da construção civil. Através de projetos de integração de maior qualidade, haverá maior visibilidade da tecnologia e aumento do interesse dos clientes em solicitar o uso de painéis solares em suas edificações de moradia ou trabalho. Assim, a ferramenta criada neste trabalho poderá contribuir para diminuir as barreiras de conhecimento que dificultam o crescimento da tecnologia fotovoltaica.

### 1.5. INEDITISMO E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Este trabalho tem seu ineditismo e originalidade na elaboração de um estudo para auxílio na composição arquitetônica da integração de módulos fotovoltaicos às edificações. Muitos estudos são conduzidos no sentido de maximizar o aproveitamento da energia solar pelos módulos fotovoltaicos ou verificar sua contribuição nos sistemas energéticos das cidades e países, mas poucas pesquisas estão voltadas às maneiras de integração dos módulos nas edificações. A integração arquitetônica tem um papel fundamental no desenvolvimento da tecnologia, já que é premissa para que haja a instalação dos sistemas em áreas já ocupadas e justapostas aos pontos de consumo (edificações residenciais, comerciais, industriais, dentre outras).

Este estudo é inédito em analisar as integrações arquitetônicas dos módulos fotovoltaicos pelo viés da composição formal da arquitetura. O estado da arte da tecnologia fotovoltaica permite que a mesma esteja disponível no mercado mundial, sendo também financeiramente atrativa em muitos países. Mas a composição das integrações arquitetônicas, que são fundamentais para divulgação e aceitação da tecnologia junto à população, ainda é um ramo carente de pesquisa e desenvolvimento.

A contribuição científica deste trabalho está em pesquisar e divulgar as possibilidades de composição formal arquitetônica das instalações fotovoltaicas. Os novos usos das edificações, como o

surgimento das fábricas no século XIX, fizeram com que surgisse um estilo arquitetônico próprio de sua época e de suas necessidades, que resultou na arquitetura Modernista, com linhas mais simples, refletindo o uso mais eficiente dos locais e com grandes volumes formais para abrigar todas as máquinas e equipamentos necessários. Do mesmo modo, a criação de novas tecnologias também afeta a linguagem das edificações, como o desenvolvimento de elevadores, que permitiram a construção de prédios em altura que também exigiu o desenvolvimento de estruturas mais leves e resistentes para viabilizar a construção. Deste modo, a possibilidade de geração energética junto ao ponto de consumo, oferecida pelos painéis fotovoltaicos, direciona para que a arquitetura integre esse material de forma adequada na edificação, garantindo o desempenho adequado da tecnologia e também a valorização arquitetônica. Assim, este trabalho investigou as possibilidades de integração dos módulos fotovoltaicos, buscando auxiliar os arquitetos em um projeto que respeite a composição arquitetônica e o funcionamento adequado da tecnologia.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, com introdução, revisão bibliográfica, metodologia e resultados e discussões.

No primeiro capítulo da introdução, são encontrados o foco da pesquisa, as hipóteses e objetivos que norteiam o trabalho e as justificativas e inovações que validam o estudo.

No segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica com pesquisa a vários autores que tratam sobre o tema da tecnologia fotovoltaica, composição formal na arquitetura e as ferramentas de apoio ao projeto.

O terceiro capítulo conta com a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, desde a parte inicial de pesquisa teórica até a etapa de formulação e teste da ferramenta de apoio aos projetos de integração fotovoltaica à arquitetura.

O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos ao longo da realização do trabalho.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões obtidas a partir da elaboração do trabalho e as contribuições do mesmo ao alargamento das fronteiras do conhecimento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo trata de uma revisão em bibliografia com temas pertinentes ao presente trabalho, que serviram de base para o delineamento da metodologia e da elaboração dos resultados e discussões. A revisão foi dividida em subcapítulos com temas mais específicos, indo das tecnologias disponíveis em sistemas fotovoltaicos até as ferramentas de apoio à decisão de projeto. Primeiramente são abordadas as tecnologias disponíveis no mercado fotovoltaico e como funcionam os sistemas conectados à rede. A segunda parte está focada na integração arquitetônica dos módulos fotovoltaicos, que é o objeto de trabalho desta tese, buscando diversidade de soluções de composição com compromisso com o desempenho técnico. A última parte da revisão bibliográfica trata exclusivamente das ferramentas de apoio à decisão de projeto, buscando compreender o seu funcionamento e suas características essenciais, para então passar à elaboração da ferramenta a que este trabalho se propõe.

### 2.1. FONTES RENOVÁVEIS E A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

O desenvolvimento das civilizações trouxe a sociedade até o mundo desenvolvido e tecnológico atual. Para isto foram necessários milhões de MWh gerados e consumidos para os mais diversos usos finais. Grande parte da energia utilizada foi oriunda de base fóssil, ou seja, combustíveis altamente densos energeticamente, mas que levaram milhões de anos para serem produzidos pelas condições do meio ambiente da Terra. Com a perspectiva do esgotamento desses recursos, além da degradação ambiental produzida, as matrizes renováveis têm sido foco de pesquisas e incentivos. Essas matrizes são aquelas que utilizam recursos com renovação natural dentro da escala de tempo humana.

As fontes de energia renováveis permitem a continuada evolução da humanidade e principalmente a manutenção de suas necessidades básicas e atividades cotidianas, sem (ou com o menor) comprometimento do meio ambiente e das gerações futuras. O uso das fontes renováveis auxilia na sustentabilidade ambiental do planeta através da utilização de recursos que não comprometam a qualidade de vida das gerações atuais e futuras, além de não ameaçar os ecossistemas (ROGNER, 2000). Na busca pela sustentabilidade, as energias renováveis têm como aliada a eficiência energética, que busca diminuir o consumo de energia, mantendo o mesmo desempenho das atividades. A eficiência energética ocorre pela mudança de hábito dos usuários

(diminuindo o consumo) ou pela substituição de equipamentos por outros mais eficientes (GELLER, 2003). Aliando eficiência energética a um consumo energético com base renovável, o mundo poderá chegar a um patamar de desenvolvimento sustentável.

As fontes renováveis utilizam recursos naturais, com ampla disponibilidade e renovação, como o sol, recursos hídricos, ventos, oceanos, energia geotérmica, biomassa, entre outros. As energias renováveis ainda podem ser consideradas como aquelas para as quais o homem pode dar um manejo adequado à sua disponibilidade e utilização. A energia hidráulica está presente nos cursos d'água, sendo obtida através de turbinas movidas pela diferença de nível entre dois pontos do curso d'água. A energia mecânica da turbina é convertida em energia elétrica por um gerador, e então transmitida até os pontos de consumo. A energia eólica se utiliza das diferenças de pressão existentes na atmosfera que deslocam as massas de ar; o movimento dessas massas pode ser captado pelas pás das turbinas eólicas, que também gera energia mecânica que é posteriormente transformada em energia elétrica. A energia oceânica é o aproveitamento de efeitos marítimos para geração de energia mecânica e posterior transformação em energia elétrica. A energia das marés (que usa o fluxo das marés para mover pás submersas), das ondas (com equipamentos que se movimentam conforme a amplitude e a frequência das ondas), e da gradiente térmica (utiliza a diferença de temperatura entre a superfície da água e as águas profundas) são meios de aproveitamento da energia oceânica. A energia geotérmica utiliza o calor do interior da Terra, oriundo das rochas incandescentes, para gerar vapor e movimentar turbinas. A geração por biomassa é a utilização para fins energéticos dos recursos naturais vegetais (ou animais) e de seus resíduos, podendo utilizar resíduos sólidos de plantas, óleos obtidos a partir das mesmas, ou ainda resíduos urbanos de materiais orgânicos já processados. Dentre as energias renováveis apresentadas, a energia solar fotovoltaica, foco deste trabalho, é a única que permite a conversão direta do recurso natural, a irradiação solar, em energia elétrica, a energia mais utilizada nas cidades e nas edificações.

O aproveitamento da energia solar utiliza como base a irradiação solar recebida pela Terra e pode ser aproveitada de três formas: energia solar passiva, feita através da arquitetura bioclimática, que projeta a edificação para receber a incidência solar para iluminar, aquecer e direcionar o ar nos ambientes internos; a energia solar térmica, que utiliza a irradiação solar para aquecimento de fluidos que poderão ser utilizados diretamente (aquecimento de água para consumo em banheiros, cozinhas e lavanderias) ou indiretamente (aquecimento de

fluidos para movimentar turbinas a vapor); ou a energia solar fotovoltaica, que converte diretamente a irradiação solar em energia elétrica.

Os dispositivos utilizados para a conversão da energia solar em energia elétrica são as células fotovoltaicas, que convertem diretamente a irradiação solar em energia elétrica, não utilizando qualquer tipo de combustível fóssil e nem gerando degradação ambiental no local de seu uso final. Como o efeito fotovoltaico só ocorre na presença de luz, só há geração de energia durante o dia, sendo, portanto, uma fonte que não apresenta geração à noite e apresenta reduções significativas em dias chuvosos ou nublados.

A tecnologia de geração energética a partir da conversão fotovoltaica é feita através dos módulos fotovoltaicos. Cada módulo apresenta um conjunto de células fotovoltaicas que, unidas, promovem a geração de energia elétrica. Ao unir vários módulos em um arranjo, o sistema compõe um painel, que pode ser instalado em uma edificação ou sobre o solo (RÜTHER, 2004).

Como o funcionamento das células fotovoltaicas depende diretamente da disponibilidade da luz, quanto maiores os níveis de irradiação, maior também a quantidade de energia gerada. A luz à qual as células respondem é a radiação eletromagnética produzida pelo Sol que chega à Terra. Embora a densidade energética deste tipo de energia seja baixa em relação aos combustíveis fósseis, a disponibilidade é muito maior, já que a radiação que atinge o globo terrestre em 12 minutos seria suficiente para abastecer todo o planeta por um ano (RÜTHER, 2004).

A radiação eletromagnética emitida pelo Sol sofre alterações ao passar pelas partículas de água, ar e poeira da atmosfera. Assim, dias chuvosos e nublados bloqueiam mais a radiação e reduzem a geração dos sistemas fotovoltaicos. Nos dias nublados ainda há geração ocasionada pela radiação difusa, que é a radiação refletida pela abóbada celeste e demais elementos da atmosfera. Quando não há nuvens, há a radiação direta, que provém diretamente do sol e incide no plano do módulo(IEA, 1995).

Embora para alguns a tecnologia fotovoltaica ainda possa parecer novidade, a IEA (Agência Internacional de Energia) em 1995 apresenta o estado da arte da tecnologia como estando desenvolvida e com uma durabilidade de cerca de 30 anos de funcionamento, já tendo sido aplicada em várias instalações. A tecnologia FV também apresenta a vantagem de ser modular, podendo ser usada de miliwatts a megawatts (MW), facilitando as instalações descentralizadas. Em relação aos locais de utilização, a tecnologia apresenta-se como universal, não sendo uma

fonte pontual, que apresente potencial somente em zonas específicas, mas apresenta um desempenho potencial de acordo com os níveis de irradiação característicos do local.

As células fotovoltaicas podem ser feitas de vários materiais: silício, telureto de cádmio, disseleneto de cobre, gálio e índio, dentre outros (RÜTHER, 2004). Cada material que compõe a célula fotovoltaica caracteriza uma tecnologia que possui eficiência e possibilidade de integração diferenciada. Existem três gerações da tecnologia e cada uma delas apresenta características diferentes. A primeira geração é de silício cristalino, que atualmente domina o mercado; a segunda geração são os módulos de filmes finos, que apesar da menor eficiência permitem maior flexibilidade na instalação; e a terceira geração é composta pelas células orgânicas e de corantes sensibilizados, ainda não disponíveis comercialmente para a construção civil.

Dentre as tecnologias existentes, o silício cristalino está dominando o mercado atualmente, devido à sua maior eficiência de conversão, o que permite maior potência instalada em pequenas áreas disponíveis. As células podem ser fabricadas de material monocristalino ou multicristalino, que diferem no arranjo dos átomos da composição e, assim, na eficiência de conversão. As células de silício monocristalino (c-Si) são fabricadas a partir da obtenção de um bloco originado de um único cristal, o que o torna bastante eficiente (cerca de 25%, em laboratório), mas muito mais caro por seu processo elaborado de fabricação. Por muito tempo o c-Si foi obtido a partir da indústria de semicondutores e tinha qualidade e pureza superiores ao necessário para a tecnologia fotovoltaica. Já o silício multicristalino (m-Si) é fabricado a partir de um bloco de silício com muitos cristais, obtido com um processo mais simples e econômico, mas menos eficiente (20%, em laboratório) (IEA, 1995; RÜTHER, 2004; MAKRIDES *et al.*, 2010). Adequando-se às necessidades do mercado, o m-Si tornou-se mais usual, apresentando a melhor relação custo x benefício.

A utilização do silício cristalino nas edificações é feita normalmente em módulos rígidos e retangulares, com as células encapsuladas em uma estrutura de vidro, para revestir fachadas ou coberturas planas e opacas. Com um maior espaçamento entre as células de silício podem ser fabricados módulos semitransparentes, que permitem a passagem da luz para o interior das edificações. Para suavizar o contraste entre áreas opacas e transparentes pode ser utilizada uma cobertura inferior com um material translúcido, que promova a difusão da luz. Já existe também uma tecnologia desenvolvida pela empresa Sunways, que permite uma transparência na própria célula,



obtida com cortes a laser muito finos (CHIVELET e SOLLA, 2010). Normalmente a aparência visual dos módulos de silício cristalino é azul brilhante.

Outra tecnologia existente é a de filmes finos, que possui uma fabricação com menor temperatura de trabalho e, conseqüentemente, menos energia para fabricação de cada  $Wp^1$  (IEA, 1995). Os filmes finos apresentam várias possibilidades de integração arquitetônica, possíveis graças à fabricação com utilização de substratos diversos: vidro, metal, plástico. Deste modo, os módulos de filmes finos podem ser flexíveis, de formas variadas, e ainda são mais leves que os módulos de silício cristalino. A aparência visual destes módulos é de tons opacos, do marrom avermelhado ao preto (CHIVELET e SOLLA, 2010). Os filmes finos podem ser feitos de vários materiais, como o silício amorfo (a-Si) com eficiência de cerca de 6% a 10%, de CIGS com 12 a 19%, ou de CdTe com 10 a 19%. O CIGS apresenta uma eficiência de até 19,9% e vem encontrando aplicação crescente na integração arquitetônica. Quando instalados em climas quentes, os sistemas de filmes finos de CdTe e a-Si apresentam maior estabilidade de eficiência frente à variação de temperatura, apresentando menos perdas de geração que os sistemas de silício cristalino ou os de filmes finos de CIGS (MAKRIDES *et al.*, 2010).

Atualmente vem sendo trabalhada uma tecnologia em que as células absorvem várias bandas da radiação solar (*multi-junction*), já que as células comuns só absorvem determinada banda, limitando a eficiência teórica das mesmas em 30%. A tecnologia HIT (*hetero-junction with intrinsic thin film*), desenvolvida pela Sanyo, trabalha com a absorção de bandas diversas e permite eficiências ainda maiores (MAKRIDES *et al.*, 2010).

Os corantes sensibilizados são a terceira geração da tecnologia fotovoltaica e aparecem como possibilidades para o futuro, onde terão menor custo e cobrirão grandes superfícies. As células solares sensibilizadas por corante (DSSC do inglês *dye sensitized solar cell*) também convertem a energia solar em energia elétrica, mas utilizam materiais com menor custo que o silício. A fabricação da célula utiliza duas placas de vidro que são cobertas com uma película de um material condutor, resultando em um material nanoporoso que é recoberto com corante sensibilizador e então unidas e seladas as duas faces (NGUYEN *et al.*, 2007).

---

<sup>1</sup>  $Wp$  é a potência nominal dos módulos fotovoltaicos, que indica a potência do sistema testado em laboratório em STC (*Standard test conditions* com irradiação de 1.000  $W/m^2$ , massa de ar de 1,5 e temperatura da célula de 25°C).

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é comumente usado como substrato, sendo transparente à luz visível. Os corantes usados nas células permitem a absorção na faixa de onda do visível e também possibilitam cores diversas para o material (AGNALDO *et al.*, 2006). A eficiência das células é em torno de 6%, menor que as eficiências de outras tecnologias, devido à alta taxa de recombinação do material. A grande vantagem do material está no custo bem menor (o material de maior custo acaba sendo o vidro aonde a célula será depositada), mas exige a utilização de grandes áreas (GREEN, 2004). As pesquisas também avançam no sentido de diminuir a degradação da eficiência do material pela exposição à luz.

A Konarka é uma das empresas que está despontando na utilização das DSSC, com uma tecnologia de impressão do material sensibilizado sobre um polímero flexível. O chamado ‘plástico de energia’ (*Power Plastic*®) é extremamente fino, leve e flexível, e ainda é chamado de material orgânico por ser 100% reciclável (KONARKA, 2011). Outra empresa que está atuando no mercado de células de terceira geração é a Dyesol, que também fabrica produtos com células sensibilizadas. A Dyesol (2011) salienta a utilização da tecnologia em locais não ótimos para instalação da tecnologia, já que a mesma é capaz de produzir energia de forma satisfatória em superfícies que recebem baixa irradiação. Deste modo, esta terceira geração de células possibilita também maior integração com a arquitetura, já que aumentaria a utilização de faces com menor ganho de irradiação solar.

A eficiência máxima obtida pelas tecnologias, seja em laboratório ou disponíveis no mercado, são regularmente publicadas (GREEN *et al.*, 2012). Na Tabela 1 apresentam-se as maiores eficiências de cada tecnologia comercialmente disponível.

Tabela 1 – Eficiências medidas em STP de módulos comerciais. Adaptada de (GREEN *et al.*, 2012).

Tecnologia	Eficiência	Fabricante
Si (Silício cristalino)	22,9 ( $\pm 0,6$ )	UNSW/Gochemann
Si (Silício cristalino grande)	21,4 ( $\pm 0,6$ )	SunPower
Si (Silício multicristalino)	18,2 ( $\pm 0,4$ )	Schott Solar
Si (Silício em filme fino policristalino)	8,2 ( $\pm 0,2$ )	Pacific Solar
GaAs (filme fino)	23,5 ( $\pm 0,7$ )	Alta Devices
CIGS (Disseleneto de cobre, gálio e índio)	15,7 ( $\pm 0,5$ )	Miasole
CIGSS (livre de cádmio)	13,5 ( $\pm 0,7$ )	Showa Shell
CdTe (Telureto de Cádmio)	12,8 ( $\pm 0,4$ )	PrimeStar
a-Si/a-SiGe/a-SiGe (dupla junção)	10,4 ( $\pm 0,5$ )	USSC

Outra tecnologia que vem ganhando espaço são os concentradores solares, que utilizam materiais com características óticas de lentes ou espelhos para direcionar maior quantidade de irradiação solar para uma área menor de células fotovoltaicas. A vantagem deste sistema está em ‘concentrar’ mais energia em uma área menor, reduzindo os custos de grandes áreas de semicondutores. Assim, podem ser utilizadas tecnologias nobres, com alta eficiência. Os problemas desta tecnologia estão no seu funcionamento, já que para aumentar a concentração o sistema requer acompanhamento do movimento solar (MAKRIDES *et al.*, 2010) e cuidados para evitar o superaquecimento da superfície semicondutora.

Para a instalação de um sistema fotovoltaico, as células são unidas em módulos, uma estrutura que caracteriza o tipo de integração que será possível realizar. Os módulos possuem características elétricas expressando potência, tensão e corrente em STC (*Standard Test Condition*<sup>1</sup> acima, ou condições padrão de testes) e também em situações extremas, de curto-circuito e de circuito aberto. Eletricamente os módulos podem ser agrupados em série (mantendo a corrente e somando as tensões) e em paralelo (mantendo a tensão e somando as correntes). A combinação dos módulos em série e paralelo é que dá a caracterização total do arranjo. As características mecânicas dos módulos podem apresentar as células em módulos rígidos ou flexíveis, dependendo do substrato que fará o encapsulamento que protege as células (IEA, 1995). Os módulos ainda podem ser opacos ou semitransparentes (esses últimos costumam ter menor potência, já que a transparência é obtida pelo maior afastamento entre as células em uma mesma área). Dentre as características mecânicas dos módulos ainda é indicado se o módulo possui moldura ou não, seu peso e o tipo de terminal utilizado (RÚTHER, 2004).

A capacidade de transformação da energia luminosa do sol em energia elétrica é determinada pela eficiência dos módulos fotovoltaicos, sendo o fator limitante da sua produção energética. Outros elementos também podem afetar o rendimento, como sombreamento dos módulos, o posicionamento dos mesmos em relação ao Norte e à latitude local, e a temperatura de operação dos módulos, questões importantes que devem ser consideradas na sua integração arquitetônica (THOMAS, 1999).

Para o funcionamento correto de um módulo fotovoltaico ele deve ser iluminado uniformemente em sua superfície, já que um sombreamento parcial, por uma antena ou uma árvore, do módulo afetará sua geração. Isto ocorre porque a célula com menor iluminação é que irá determinar a corrente de operação de todas as células que estiverem na mesma série que ela. Para evitar este efeito, são utilizados

os diodos de *bypass*, que fornecem um caminho alternativo à corrente, permitindo que a mesma mantenha os níveis das outras células corretamente iluminadas (IEA, 1995). Em um arranjo fotovoltaico, um efeito semelhante pode ocorrer quando há um módulo sombreado na instalação; assim, este módulo com menor geração também irá condicionar a corrente dos outros módulos ligados a ele em série. Deste modo, é fundamental que a integração arquitetônica projete a localização dos módulos em local idealmente livre de qualquer tipo de sombreamento, principalmente nas horas em que há maior irradiação solar disponível.

O posicionamento dos módulos fotovoltaicos em relação ao azimute e à inclinação vertical são elementos fundamentais para permitir a captação da maior irradiação solar possível. Cada parte do globo terrestre recebe um valor de irradiação diferente; então, o desafio das instalações fotovoltaicas é conseguir a melhor insolação possível para o local específico da instalação. Os maiores níveis de irradiação são absorvidos por uma superfície que esteja em um azimute orientado ao Norte (para o hemisfério sul) ou sul (no caso do hemisfério Norte), e que esteja inclinado em ângulo igual à latitude local (BROGREN e GREEN, 2003). Em relação à latitude, Burger e Rütther (2006) demonstram que baixas latitudes são menos sensíveis a desvios de azimutes, ou seja, em locais de baixa latitude é possível projetar integrações com desvio azimutal do Norte sem grandes perdas de geração. Em relação à inclinação dos módulos, Burger e Rütther (2006) demonstram que em altas latitudes as instalações verticais (ângulo de 90° em relação ao solo) também não apresentam tantas perdas, sendo mais favorecidas do que nos locais de baixa latitude. Assim, as fachadas fotovoltaicas apresentam melhor desempenho relativo nos locais de alta latitude do que nas regiões tropicais do globo.

A temperatura do módulo também é um fator que determina a eficiência de geração do mesmo. Quanto maior a temperatura, menor o desempenho do módulo (PRASAD e SNOW, 2004; BURGER e RÜTHER, 2006). Os módulos de silício cristalino costumam perder 0,4% de eficiência a cada 1 K de temperatura que aumenta (IEA, 1995). Como não há como proteger os módulos do calor, ocasionado pela própria exposição ao sol, eles devem ser instalados de forma a serem naturalmente ventilados. A ventilação natural para os módulos ocorre deixando os mesmos afastados a uma distância de cerca de 10 cm (IEA, 1995), de qualquer elemento construtivo como paredes ou coberturas. O afastamento dos módulos em relação às superfícies permite que seja formada uma corrente de ar na parte inferior dos módulos. O ar mais quente em contato com os módulos tende a subir, criando uma corrente

de ar que dissipa o calor. Assim a integração dos módulos na edificação deve ser considerada durante a fase de projeto arquitetônico da edificação, para posicionar corretamente os módulos e evitar perdas de geração por temperatura elevada dos módulos.

A utilização da tecnologia fotovoltaica é bastante limitada à eficiência dos módulos. Assim, para atingir maiores níveis de geração é necessária a utilização de grandes áreas. Neste sentido, alguns estudos buscam identificar o impacto da tecnologia FV na paisagem natural ou construída (CHIABRANDO *et al.*, 2009). Como a geração fotovoltaica depende diretamente da irradiação solar, a posição correta de instalação dos módulos é fundamental, para que não haja sombreamentos e esteja na angulação correta, o que nem sempre ocorre nas integrações em edificação. Por este aspecto as instalações no solo podem ser mais interessantes, mas neste caso ocorrem alguns impactos no território e na paisagem.

Os impactos da tecnologia FV sobre o solo são identificados no uso de terras, possíveis alterações no microclima local, e interferência em ecossistemas. Embora muitos estudos já tenham sido feitos provando a viabilidade ecológica do sistema, pouco se analisa sobre os impactos da tecnologia nas terras. Na Itália, junto a um programa nacional de incentivo à tecnologia, foi feito um estudo sobre a instalação de sistemas FV de grande porte instalados no solo. Este estudo foi publicado na forma de decreto (CHIABRANDO *et al.*, 2009) limitando as áreas que poderiam ser utilizadas para as instalações (no mínimo 100 m longe de sítios históricos e monumentos naturais) e também exigindo um compromisso da empresa instaladora para o descarte correto do material após o término da sua vida útil.

Chiabrando *et al.* (2009) apresentam um estudo detalhado dos impactos da instalação fotovoltaica no território e na paisagem rural, classificando-os:

- Uso da terra: Mesmo que os módulos não sejam instalados na horizontal, visto que sua inclinação deve ser similar à latitude local, a projeção horizontal dos módulos ocupa uma área considerável. Quando os módulos são utilizados nas edificações, a área ocupada pode ser desconsiderada. Assim a instalação fotovoltaica deveria ser priorizada nas edificações, para depois utilizar áreas livres.
- Redução de áreas cultiváveis: Quando as áreas a serem utilizadas são locais de produção agrícola, ocorre o impacto de redução das áreas para produção de alimentos. Neste aspecto, a energia fotovoltaica de geração centralizada pode encontrar os mesmos empecilhos que a produção de oleaginosas para

biocombustíveis, ou cana de açúcar para a produção de etanol. É recomendado que as terras utilizadas para a geração fotovoltaica sejam terras devolutas, ou preferencialmente terras áridas e desérticas<sup>2</sup>, sem competição com a agricultura.

- Fragmentação rural: a utilização dos módulos em áreas rurais pode comprometer a identidade local, indo contra a preservação natural e comprometendo a biodiversidade pela instalação de um material artificial no meio ambiente.
- Degradação vegetal: onde houver a instalação do sistema FV haverá a eliminação de alguns indivíduos vegetais. Isso pode provocar uma alteração na paisagem local. O decreto italiano prevê que nas áreas rurais não possam ser instalados sistemas que supram mais que 130% da demanda local. Isto limita especulações de investidores e principalmente limita o tamanho físico dos sistemas. Esta análise também orienta que as instalações sejam feitas de forma distribuída.
- Impacto visual na paisagem: É difícil de ser avaliado e necessita de uma determinação de tamanho a partir do qual possa ser considerado como impactante. Uma ferramenta de análise para esta questão são as fotomontagens. Nas edificações urbanas é mais simples a percepção da integração, impactante ou não, já que o ambiente é grande parte composto de materiais artificiais.
- Interferência na flora e fauna local: A instalação dos sistemas pode ocasionar mudanças de comportamento biológico em animais e plantas do local.
- Alterações no microclima local: A exposição do módulo à irradiação solar provoca a elevação da temperatura do mesmo, chegando a cerca de 70°C, temperatura similar à temperatura que atingem outros materiais de cobertura escuros, por isso pode contribuir para os efeitos de “ilha de calor” urbano. O aquecimento do módulo também deve ser evitado devido à característica de diminuição da eficiência do mesmo em temperaturas elevadas. Assim os projetos que preveem ventilação têm minimização deste efeito.
- Ofuscamento: característica causada pela reflexão luminosa excessiva à capacidade de percepção do olho humano, que

---

<sup>2</sup> Alguns estudos analisam a viabilidade de utilizar as áreas desérticas para geração energética através de grandes centrais fotovoltaicas. Estuda-se inclusive a utilização do deserto de Saara para abastecimento de parte da Europa (BATTAGLINI *et al.*, 2009), já que os desertos costumam ter altos níveis de irradiação e baixo valor da terra.

pode ser ocasionada pela reflexão dos raios de sol pelos módulos. Isto pode causar impacto negativo se os módulos estiverem direcionando esta iluminação excessiva para algum ambiente com utilização por pessoas, ou mesmo ruas e rodovias.

- Campo eletromagnético: fenômeno causado por equipamentos elétricos funcionando em média voltagem (dentre outros). Para não afetar o funcionamento de outros equipamentos os cabos devem seguir a legislação vigente e ser corretamente isolados.
- Impactos na fase de construção: são similares aos impactos de outros tipos de construção. Podem ser evitados e minimizados com ações de economia de material e menor impacto na rotina do entorno.

Deste modo, percebe-se que embora as instalações em solo, que são projetadas nas melhores condições para absorção da irradiação solar, também possuem limitações, salientando as vantagens das integrações fotovoltaicas às edificações.

### **2.1.1. Sistemas conectados à rede**

A geração fotovoltaica ocorre quando as células fotovoltaicas são expostas à luz, necessitando que esta energia tenha consumo imediato ou então seja armazenada. Assim, a geração fotovoltaica é dividida em dois grupos: sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou sistemas isolados. Os sistemas isolados são aqueles que utilizam a energia fotovoltaica gerada para abastecer um sistema de armazenamento, normalmente baterias químicas, que posteriormente irão abastecer as cargas quando o sistema não estiver gerando energia. Este sistema apresenta desvantagens pelo uso das baterias que minimizam a eficiência do sistema, têm custo de aquisição, além de possuir elementos tóxicos em sua composição. Mesmo assim os sistemas isolados continuam sendo utilizados, principalmente para o abastecimento de consumidores remotos. Neste tipo de funcionamento os módulos fotovoltaicos estão ligados a um controlador de carga que regula o estado das baterias, e faz a conexão às cargas que irão consumir a energia.

Este trabalho não se refere às instalações isoladas e sim aos sistemas interligados, que são o tipo de sistema mais usual no mercado atual.

As instalações FV feitas de modo conectado à rede funcionam como miniusinas fornecendo energia à rede pública. Este modo de

instalação permite que a geração e seu uso sejam mais eficientes, normalmente sem sistemas de armazenamento e com troca de geração e demanda em horários diferentes. A inserção de pontos descentralizados de geração também posterga a necessidade de ampliação da rede, em geração e transmissão. Praticamente todos os sistemas fotovoltaicos existentes integrados em edificações urbanas estão interligados à rede elétrica pública, principalmente nos países em que há uma legislação que premia a geração solar fotovoltaica (CHIVELET e SOLLA, 2010). Na instalação conectada à rede os módulos são conectados a um inversor, que converte a corrente contínua (gerada pelos módulos) em corrente alternada (utilizada nas redes elétricas convencionais) na tensão e frequência da rede, ligados a medidores que contabilizam a energia exportada à rede.

No Brasil, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a conexão à rede de mini geradores em edificações com potência até 1 MWp. A regulamentação (ANEEL, 2012) prevê que a microgeração e minigeração distribuída seja conectada à rede através da edificação da instalação consumidora de modo a compensar a energia consumida. Deste modo, os proprietários de sistemas fotovoltaicos instalados em edificações no Brasil terão um balanço mensal entre seu consumo e sua geração energética. No caso de haver maior geração que consumo, o proprietário pode utilizar esta geração excedente dentro de até 36 meses. A regulamentação prevê ainda uma tarifação pelo uso do sistema elétrico que recebe a energia gerada.

Dentro das instalações conectadas à rede, o sistema fotovoltaico pode ainda ser feito de duas formas, centralizado ou descentralizado (RÜTHER, 2004). A instalação fotovoltaica centralizada e conectada à rede é feita com a instalação de um grande número de módulos em um único local (ocupando uma grande área), que irá gerar energia a ser transmitida e distribuída até os locais de utilização, tal como uma central hidrelétrica ou termelétrica. As instalações descentralizadas e conectadas à rede são instalações menores, que geram uma quantidade menor de energia, mas que podem ser instaladas sobre edificações e junto aos pontos de consumo (IEA, 1995).

A geração descentralizada implica em uma nova maneira de administrar os fluxos de energia na rede elétrica, já que as redes costumam ser abastecidas por grandes usinas, que funcionam com uma potência elevada e constante, ao contrário da geração FV, que é intermitente e na maioria das vezes de pequeno porte. A questão do nível de penetração e o efeito de ilhamento são preocupações dos gerenciadores das redes. O nível de penetração indica até que percentual a fonte intermitente poderia contribuir para a energia da rede sem



comprometer o fornecimento do sistema (JARDIM, 2007). O efeito de ilhamento pode teoricamente ocorrer quando há desligamento da rede pública de distribuição para manutenção, mas os sistemas fotovoltaicos continuam exportando energia à rede, podendo ocasionar acidentes aos funcionários que estiverem trabalhando na rede. A maioria dos inversores utilizados atualmente atua de modo a impossibilitar naturalmente o efeito de ilhamento, já que utilizam a própria rede como parâmetro copiando a tensão e frequência para balizar a energia exportada (ELTAWIL e ZHAO, 2010). Se a rede não estiver presente, o inversor não irá conectar o gerador fotovoltaico a ela.

### **2.1.2. Mercado fotovoltaico**

O mercado fotovoltaico tem estado em expansão nos últimos anos, contribuindo para a geração de energia renovável no mundo com preços mais atrativos aos consumidores. De 2006 a 2011 a energia solar fotovoltaica foi a energia alternativa com maior crescimento percentual. A capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede cresceu neste período cerca de 58% anualmente, em comparação com a geração eólica que cresceu 26% e as hidrelétricas 3% (REN21, 2012).

No mundo, já são vários Gigawatts instalados de sistemas fotovoltaicos, sendo a maior parte deles sistemas distribuídos e conectados à rede (em vermelho na Figura 1). Os tons quentes da Figura 1 (amarelo, laranja e vermelho), que dominam a maior parte do gráfico, representam as instalações conectadas à rede (centralizadas ou distribuídas). Isto demonstra que a tecnologia fotovoltaica já é tida como uma fonte comercial, sendo usada para abastecer cidades e diversas atividades humanas. As instalações conectadas à rede estão essencialmente presentes nos países em que houve incentivos para este tipo de instalação. Os tons de azul demonstram as instalações isoladas em que não houve incentivos, ou então onde os incentivos foram as próprias instalações isoladas (como na Austrália).

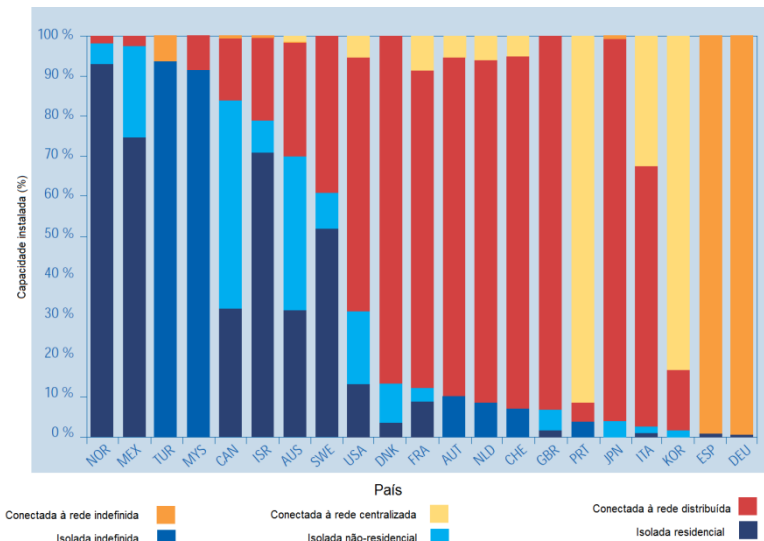


Figura 1 – Mercado fotovoltaico e tipos de instalação fotovoltaica. Fonte: IEA (2010)

A produção mundial atualmente é dominada pela tecnologia de silício multicristalino, já que possui processo mais barato que a tecnologia monocristalina e com rendimentos significativos. O caminho de evolução da tecnologia tem buscado a redução da espessura das células, melhoras na eficiência de conversão e, principalmente, redução dos custos de produção. O desenvolvimento das formas e tamanhos dos módulos também vem sendo bastante trabalhado, buscando melhores soluções para a integração arquitetônica (CHIVELET e SOLLA, 2010).

A utilização da tecnologia FV integrada à edificação (BIPV) pode proporcionar aumento do valor estético, funcional e ambiental de uma edificação. Estas qualidades estão contribuindo para o crescimento do mercado fotovoltaico e têm sido alavancadas pelas políticas de incentivo, remunerando o investidor de forma a atrair capital privado para esta tecnologia (PAGLIARO *et al.*, 2010).

Em 2010 o número de fabricantes de módulos diminuiu, mas a quantidade de tipos diferentes de módulos aumentou, assim como as vendas dos fabricantes que se mantiveram no mercado (KREUTZMANN e SIEMER, 2010). As características dos módulos também têm sofrido alterações; módulos com maior potência têm cada vez mais sido vistos no mercado, com uma diminuição da participação de módulos pequenos. A eficiência dos módulos tem se mantido

praticamente constante e o que tem mudado principalmente são os tamanhos dos módulos.

O relatório de 2011 da IEA (2012) apresenta como elemento principal de crescimento do mercado fotovoltaico a instalação em escala no meio urbano. Estas instalações são definidas por instalações pequenas, médias ou grandes, em edificações existentes ou novas, sendo também um ponto de utilização de energia e que contribuem para a descentralização energética na alta densidade do meio urbano. De 2006 a 2011 o mercado cresceu cerca de 60% ao ano, devido aos vários programas de incentivo e diminuição do preço dos sistemas (REN21, 2012). Os agentes desta evolução do mercado fotovoltaico e também responsáveis pela sua continuidade são definidos pela IEA (2010) como o setor da construção civil, usuários finais da tecnologia, governo, órgãos financiadores e bancos, indústria fotovoltaica, setor elétrico e setor educacional. É através da participação destes agentes que o mercado fotovoltaico vem obtendo crescimento e desenvolvimento.

O mercado alemão continua sendo o maior da Europa, mesmo que não seja o país com condições climáticas mais favoráveis. Os países com maior insolação têm maior potencial para o uso da energia fotovoltaica para geração de energia limpa, já que a geração dos sistemas FV é determinada pelos níveis de irradiação. O grande desafio de mercado da tecnologia é superar o alto custo inicial de aquisição do sistema. A expectativa para a redução de custos provém das novas tecnologias de fabricação, como os filmes finos e concentradores, e a redução do custo inicial, pela criação de uma economia de escala com demanda crescente (MAKRIDES *et al.*, 2010).

Nos países onde há um programa nacional de incentivo à geração fotovoltaica conectada à rede, o pagamento pela energia gerada pode ser feita de duas formas. Uma delas é o sistema *feed-in-tariff*, onde a conexão fotovoltaica possui um medidor exclusivo para contabilizar a energia gerada e exportada à rede, e a residência possui um medidor que contabiliza somente o consumo. Assim, toda energia gerada pelo sistema FV é injetada na rede, e toda energia consumida é oriunda da rede. No final do mês existem duas faturas, uma a pagar pelo consumo de energia, e outra a receber pela geração fotovoltaica. O sistema *feed-in-tariff* possui a vantagem de poder pagar um valor exclusivo à geração, conhecido como tarifa prêmio, que paga um valor mais alto aos kWh gerados pela fonte alternativa, do que cobra pelos kWh consumidos da geração convencional. O outro sistema de tarifação é o *net-metering*, ou medição líquida. Neste caso a geração fotovoltaica alimenta primeiro a edificação, e somente o excedente é injetado na rede. Neste sistema pode ser utilizado apenas um medidor bidirecional

que irá ‘girar ao contrário’ nas horas em que a geração for superior à demanda, e nas horas em que não houver sol, ou a demanda for superior, o medidor irá girar normalmente (RÜTHER, 2004). No final do mês haverá somente uma fatura que contabilizará a diferença entre a energia gerada e a consumida, gerando uma fatura de débito ou crédito, conforme os níveis de geração e demanda. Neste sistema, a energia FV gerada é tarifada exatamente como mesmo valor da tarifa convencional, não tendo valorização como energia alternativa. No Brasil, o sistema utilizado pela ANEEL na regulamentação é uma forma de *net-metering*.

O relatório anual da IEA (2010) mostra o desenvolvimento e a utilização da tecnologia FV nos países participantes do grupo. Os países envolvidos no programa fotovoltaico da EIA têm apresentado aumento da participação da tecnologia em suas matrizes energéticas. Nestes casos os programas tipo *feed-in-tariff* são os mais utilizados, premiando os geradores fotovoltaicos com valores superiores ao valor da tarifa comum. Grande parte dos programas prevê várias faixas para o pagamento das tarifas: quanto menor a potência maior a tarifa; e a integração arquitetônica também resulta em tarifa maior em alguns casos. Como futuro, muitos países estão investindo na difusão da tecnologia a partir da integração arquitetônica, seja para minimizar especulações de instalações centralizadas, ou para aumentar a geração distribuída. As pesquisas de inovação tecnológica têm se voltado ao aumento da eficiência das células e aos novos tipos de módulos (orgânicos, corantes sensibilizados e nanotecnologia). As pesquisas também têm sido focadas na criação de novos tipos de módulos que possibilitem melhor integração à construção, como telhas FV e módulos curvos.

Na previsão de um cenário futuro, com grande participação da tecnologia fotovoltaica nas redes elétricas, existem algumas considerações a fazer sobre a presença massiva desta fonte na rede elétrica comum. Na geração FV distribuída, a sazonalidade da fonte tem levado a vários estudos para a penetração fotovoltaica na rede (IEA, 2010). As redes existentes, embora não preparadas especificamente para a injeção fotovoltaica, devem ser analisadas para identificar até que nível e em que locais suportam a inserção de sistemas fotovoltaicos sem prejudicar seu próprio funcionamento. No Brasil já existem estudos que verificaram modos de conexão à rede, principalmente analisando a curva de demanda de diversos alimentadores do sistema elétrico. Alimentadores com curvas similares ao desempenho da tecnologia, ou mesmo alimentadores em pontas da rede de distribuição, apresentam vantagens para utilizarem a contribuição de sistemas fotovoltaicos (JARDIM, 2007; BRAUN, 2010). Ao mesmo tempo, devem ser

identificadas as características que a rede deve possuir se já for projetada para permitir a injeção de uma fonte sazonal e como deve operar a rede sem prejudicar o fornecimento aos consumidores. Além de algumas adaptações nas redes, os estudos também apontam para mudanças tecnológicas nos inversores que fazem a conexão entre o gerador fotovoltaico e a rede. Os inversores devem ter tecnologias inteligentes e multifuncionais, permitindo a comunicação com a rede, com topologias que facilitem a injeção da energia fotovoltaica.

Em relação ao cenário esperado pela tecnologia fotovoltaica, de que haverá uma grande participação desta fonte nas redes elétricas convencionais, vê-se uma necessidade de adaptação das redes, principalmente através das Redes Inteligentes e Super-redes. Esta necessidade de adaptação ocorre porque a geração fotovoltaica distribuída será instalada em vários pontos da rede com pequenas potências, funcionando como minigeradores. Deste modo, as conexões poderão ser feitas em qualquer ponto, principalmente junto aos pontos de consumo. Assim a geração fotovoltaica irá contribuir diretamente para a rede de distribuição do sistema, e não para a rede de transmissão, que é o que ocorre com as centrais geradoras (NAIR e ZHANG, 2009).

As redes inteligentes são aquelas que permitem o gerenciamento de vários pequenos geradores, mesmo em longas distâncias. Estas redes também controlam as flutuações na demanda e a sazonalidade da geração, priorizando a injeção na rede dos minigeradores fotovoltaicos descentralizados que utilizam uma fonte alternativa, e controlando a geração base das grandes centrais (NAIR e ZHANG, 2009). No caso do Brasil, a rede inteligente disponibilizaria nas horas de sol a geração fotovoltaica, aliviando a geração das hidrelétricas, e assim acumulando água no reservatório para geração posterior. As redes inteligentes têm um funcionamento baseado em uma subestação virtual que controla todos os pontos de geração e demanda. Para o seu bom funcionamento é necessário que todos os elementos ligados ao setor elétrico: geração, transmissão, distribuição e consumo, estejam em consonância. Para permitir este fluxo livre e inteligente de energia é necessário um sistema regulatório que defina bem os papéis e o modo de funcionamento de cada uma das partes.

Enquanto as redes inteligentes controlam o fluxo de geração e o consumo energético, as Super-redes atuam na conexão elétrica entre locais distantes, permitindo que haja fornecimento de energia em um local e que o consumo seja feito a quilômetros dali. As Super-redes inteligentes solucionariam a tendência de uma grande rede rejeitar pequenas gerações e também abrangeriam grandes áreas, permitindo a

conexão de ainda mais geradores, pequenos ou grandes (BATTAGLINI *et al.*, 2009).

Além dos desafios tecnológicos, o mercado energético também apresenta algumas barreiras para a disseminação da tecnologia. Muitos países que ocupam as primeiras posições na instalação de sistemas fotovoltaicos tiveram programas governamentais de incentivo, financiando e apoiando as primeiras instalações. Normalmente o maior desafio está em iniciar a utilização da tecnologia no país e criar um mercado nacional. Estes programas que financiam as primeiras instalações proporcionam a criação de um conhecimento nacional sobre o funcionamento e possibilidades da tecnologia. O aumento do consumo nacional reflete-se na diminuição do preço dos sistemas fotovoltaicos, efeito demonstrado na curva de aprendizagem. Segundo Brown e Hendry (2009), os programas de governo que financiaram sistemas fotovoltaicos em diversos países tiveram êxito por atuar em três aspectos: criação de informação sobre a tecnologia reduzindo incertezas, criação de um projeto dominante (standartização), e o desenvolvimento tecnológico e profissional ligado à tecnologia.

O crescimento do mercado fotovoltaico trouxe esta tecnologia para o presente, e esta não é mais uma tecnologia do futuro (IEA, 2010), o que em grande parte deve-se à utilização da tecnologia junto às edificações. Mas ainda há muito mercado a ser ocupado pela tecnologia, que dependerá também da integração arquitetônica dos sistemas fotovoltaicos. Com maior qualidade, na forma e no funcionamento dos módulos, haverá mais clientes interessados e maior valorização da utilização da tecnologia fotovoltaica.

No Brasil, o uso desta a tecnologia teve mais um avanço recentemente, com a Resolução 482 da ANEEL que dispõe sobre o modo de conexão à rede e sistema de compensação de microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2012). Através desta resolução as gerações fotovoltaicas integradas às edificações terão seu retorno financeiro na forma de compensação do consumo de energia elétrica, ou seja, uma forma de *net metering*.

## 2.2. INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA

As preocupações com a sustentabilidade do planeta e os desafios das mudanças climáticas têm refletido em mudanças nas edificações. Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia primária nos países desenvolvidos (GELLER, 2003), que comumente utilizam combustíveis fósseis para geração de energia. Deste modo, a consciência ambiental está sendo pouco a pouco incorporada ao projeto

e ao uso das edificações. Algumas estratégias de projeto e inclusão de tecnologias possibilitam a redução do consumo energético. Esta diminuição dos gastos energéticos é essencial, mas não suficiente, sendo então necessárias alternativas que atuem na geração de energia para a edificação e ainda que seja uma energia ‘limpa’, com base em fonte renovável. Neste contexto os BIPV (*building integrated photovoltaics* ou integração fotovoltaica na arquitetura) surgiram como uma opção de tornar as edificações menos impactantes ao meio ambiente (IEA, 1995).

Os BIPV são instalações da tecnologia FV nas edificações, de forma que componham parte do envelope da mesma. A integração arquitetônica, estrutural e formal dos módulos às edificações permite a incorporação da geração de energia em estruturas usuais, como escolas, escritórios, hospitais e outros (PAGLIARO *et al.*, 2010). A integração em edificações permite que não sejam utilizadas áreas livres para a geração, mas sim áreas já ocupadas, o que é interessante para regiões demográficas densas. Em locais com alto consumo energético para condicionamento de ar para climatização, os BIPV possibilitam também na coincidência entre o pico de geração e o pico de consumo, nos horários próximos ao meio dia (IEA, 1995).

Pela junção dos módulos geradores de energia com a edificação consumidora de energia, a integração arquitetônica dos módulos também possibilita a eficiência energética (RÜTHER, 2004). De acordo com o perfil de consumo da edificação, a geração e a demanda podem ser concomitantes. O que ocorre nos casos de edificações com consumo expressivamente diurno (já que só há geração fotovoltaica nas horas de sol).

Para locais que ainda não possuem incentivos fiscais, como o Brasil, os BIPV podem auxiliar na difusão da tecnologia, já que podem diminuir o custo da construção e também reduzir os gastos com energia durante o uso da edificação. Assim, os módulos são utilizados com dois fins, de geração energética e de vedação, e têm seu período de retorno (*pay-back*) diminuído (IEA, 1995). Os módulos, quando instalados nas fachadas, podem substituir outros materiais mais caros, além de proporcionar uma percepção visual de modernidade (MARSH, 2008).

Para o Brasil, a integração fotovoltaica em edificações nas áreas urbanas pode contribuir para a viabilidade da tecnologia. Isso porque as áreas urbanas são pontos de grande consumo energético, principalmente em horário próximo ao meio dia, ocasionado pelo grande consumo dos condicionadores de ar. A inserção FV nos centros urbanos possibilita uma geração junto aos pontos de consumo e diminui o pico de carga dos alimentadores da rede elétrica no horário com maior irradiação solar (JARDIM *et al.*, 2008; RÜTHER *et al.*, 2008).

Embora os centros urbanos possam ser os locais com melhor sincronicidade para a energia solar (demanda do ar condicionado concomitante com a geração fotovoltaica) (JARDIM, 2007), eles apresentam como limitação as edificações com alta densidade, ocupando pouca área horizontal para uma maior ocupação vertical. Deste modo, há pouca área disponível para integração FV em cada prédio, possibilitando uma geração muito aquém do consumo da edificação. As diferenças de altura das edificações nos centros urbanos também ocasionam sombreamento nas coberturas e fachadas (SALAMONI, 2004), diminuindo o potencial de aproveitamento da energia solar. Deste modo, locais urbanos menos densos, como os bairros residenciais e mistos, podem ser usados para a integração FV (SANTOS, 2009). A geração FV produzida em bairros residenciais tem a vantagem de ocupar áreas maiores de cobertura e não sofrer interferências tão significativas de sombreamento. Como o consumo residencial não é tão expressivo durante o dia, estes bairros podem exportar a energia gerada para ser utilizada nos outros bairros mais densos.

A integração requer preferencialmente a participação de engenheiros civis, arquitetos e projetistas de sistemas FV, já que os BIPV têm limitações de instalação quanto à área e posicionamento da tecnologia. Pelo fato de os módulos serem utilizados como parte do envelope, há diminuição do custo da instalação FV já que substituem outros materiais de acabamento que podem ter custos elevados. Até mesmo a tecnologia de concentradores já pode ser utilizada como BIPV, integrados nas coberturas ou nas fachadas funcionando como brises (IEA, 1995; MAKRIDES *et al.*, 2010). A forma e a composição dos módulos é um fator determinante nas possibilidades de integração arquitetônica.

A forma dos módulos costuma ser retangular e rígida, com exceção de alguns filmes finos, que aplicados sobre materiais específicos resultam em módulos flexíveis, que podem ser instalados sobre superfícies curvas. A estrutura dos módulos é comumente fabricada com um sanduíche de lâminas de vidro onde a camada intermediária é feita com o material semicondutor. A utilização de vidros duplos ou laminados pode fazer com que o módulo apresente menor transmitância térmica e acústica (CHIVELET e SOLLA, 2010).

O suporte do módulo pode ser executado com estrutura metálica que englobe o módulo ou ainda não possuir o suporte, com a fixação sendo feita no próprio vidro. A cor das células que compõem o módulo também pode ser alterada através da variação de espessura do material antirreflexivo que a reveste. Normalmente os módulos possuem uma cor azulada porque é nesta cor que há menor absorção na faixa de



comprimento de onda utilizada pelas células e conseqüentemente o maior rendimento da célula. O número e a disposição das células no módulo também alteram sua composição; isto porque células dispostas mais afastadas podem tornar o módulo semitransparente caso o encapsulante também seja um vidro transparente. Estes módulos permitem a passagem da luz para o interior das edificações, mas ao mesmo tempo esta solução reduz a eficiência do módulo por possuir menos células na mesma área (CHIVELET e SOLLA, 2010).

As revitalizações de fachadas também são um campo de inserção da tecnologia. As revitalizações buscam dar uma aparência mais atual às edificações e os módulos com cores metálicas traduzem um conceito de atualidade e modernidade. As revitalizações também podem acrescentar proteções solares, como brises e fachadas duplas para amenizar a insolação excessiva da edificação, onde podem ser instalados os módulos. Como proteções solares os módulos FV também podem ser satisfatoriamente utilizados, gerando energia e também diminuindo o consumo da edificação com climatização artificial (KAAN e REIJENGA, 2004), além de que os brises fornecem o afastamento necessário da edificação, contribuindo para o resfriamento do módulo.

Para clientes particulares, que acompanham o projeto arquitetônico de suas edificações, há a dificuldade de trabalhar com os desejos pessoais, mas também há a facilidade de convencer e especificar melhor o projeto, agregando valor à edificação. Normalmente os clientes que desejam sistemas FV veem o mesmo como uma possibilidade de autonomia de geração elétrica, o que deve ser trabalhado pelo arquiteto de acordo com as possibilidades legais do país, aliando a tecnologia com outras estratégias arquitetônicas de diminuição do consumo elétrico (KAAN e REIJENGA, 2004).

A questão principal que os arquitetos trabalham é como fazer a integração de modo a contribuir para a qualidade da composição arquitetônica. Os arquitetos não costumam deter-se na instalação e funcionamento do sistema, o que exige parceria com o trabalho de engenheiros que conheçam o funcionamento da tecnologia. Mas antes de ser considerados pelos arquitetos, existem alguns critérios básicos que os módulos devem cumprir para que possam ser utilizados como vedações de edifícios em substituição a outros materiais (CHIVELET e SOLLA, 2010):

- A primeira questão é a vida útil do módulo, que deve ser compatível com a vida útil da edificação, cerca de 30 anos. Neste período o módulo deve responder bem a cargas de ventos, água, dilatações e impactos e manutenções. As fachadas devem sempre possuir um controle da permeabilidade do ar, para que

seja minimizado o gasto com climatização. A permeabilidade à água também deve ser observada, utilizando juntas entre os módulos para evitar a passagem de água para o interior da edificação, ou pode também ser utilizada uma segunda barreira sob os módulos para garantir a estanqueidade interna;

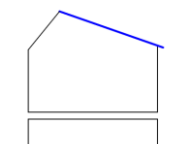

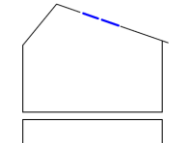

- Os módulos também agem como elementos de fachada que podem contribuir para a perda ou ganho de calor. Para materiais de vedação é interessante que sejam isolantes, para evitar ganhos de calor pela irradiação solar no verão, e perdas de calor no inverno. Mesmo sendo fabricados com vidro e outros materiais pouco isolantes, é útil que os módulos tenham um desempenho satisfatório para não comprometer a eficiência energética da edificação;
- A segurança e a resistência dos módulos também devem ser compatíveis com a utilização nas edificações. Isto porque a quebra de vidros por defeito no material ou acidentes ocasiona risco para os ocupantes da edificação. Deste modo os módulos em vidro aplicados como única vedação exterior devem ser especificados com maiores desempenhos de resistência física;
- O desempenho acústico dos módulos está relacionado à composição do vidro e à passagem de ar pelas juntas de fixação e vedação. Como o vidro não tem grande massa que garanta o isolamento acústico, o melhor desempenho pode ser alcançado colocando uma camada de algum material com maior massa. Se não for possível a criação de uma segunda camada isolante, pelo menos deve ser feita vedação de ar nas juntas entre os vidros e nos pontos de fixação, já que a passagem de ar possibilita também a passagem do som.
- Outro detalhe de desempenho que os vidros dos módulos devem apresentar é resistência às tensões térmicas que ocorrem no mesmo. Isto porque o vidro se dilata com o calor recebido da irradiação solar, variando seu tamanho. Alguns pontos da superfície do vidro que não recebam a mesma carga térmica, como as zonas sombreadas, sofrem menor dilatação, provocando uma grande tensão interna que pode resultar em fratura do material. Assim o cuidado com o sombreamento dos módulos deve ser duplo, já que a sombra impede a geração fotovoltaica e também pode ocasionar danos físicos ao material.

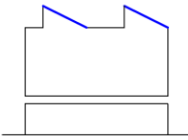

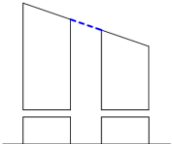

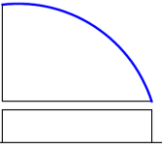

A garantia da qualidade de funcionamento e aplicação dos módulos fotovoltaicos permite que os mesmos possam então ser utilizados nas integrações arquitetônicas.

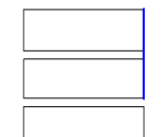

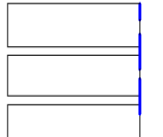

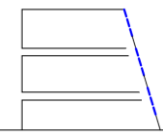

A integração fotovoltaica em uma edificação acarreta em novas necessidades que devem ser consideradas na mesma para que seja possível o melhor desempenho da tecnologia. A instalação FV irá influenciar na orientação do edifício, nas fachadas e formas da edificação, na composição com outros elementos e também na execução da obra. Deste modo é interessante que a decisão de utilizar a tecnologia fotovoltaica seja considerada desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico. As principais considerações que devem ser respeitadas são: os módulos necessitam receber a maior irradiação solar possível; a instalação FV necessita de um projeto elétrico específico e deve contar com outros equipamentos como inversores e controladores; e principalmente de que a instalação seja visível e, portanto, deve ser esteticamente agradável (THOMAS, 1999).

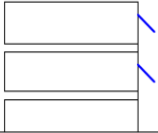

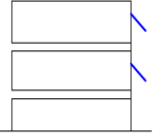

Os sistemas fotovoltaicos podem ser integrados na edificação em suas coberturas, fachadas ou elementos de sombreamento ou proteção solar, ocorrendo de diversas maneiras como exemplifica a Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de integração arquitetônica FV. Adaptado de (THOMAS, 1999) com imagens de (ISAAC, 2011).

Local de integração	Tipo de integração	Imagem
Coberturas	 Telhado inclinado	
	 Telhas inclinadas	

	 <p>Cobertura com shed</p>	
<p>Coberturas</p>	 <p>Clarabóias</p>	
	 <p>Coberturas curvas</p>	

	 <p>Paredes verticais cegas</p>	
Fachadas	 <p>Paredes verticais com janelas</p>	
	 <p>Paredes inclinadas</p>	

	 <p data-bbox="269 355 445 408">Brises horizontal fixo</p>	
Elementos de proteção	 <p data-bbox="269 738 445 791">Brises horizontal móvel</p>	

A partir do funcionamento adequado dos módulos, quanto às suas características construtivas e elétricas, passa-se à segunda etapa que é a integração arquitetônica na localização com melhor desempenho técnico, nas coberturas, fachadas ou nos elementos de proteção.

Nas coberturas os sheds apresentam vantagem, pois estes elementos já conceitualmente projetados para que a face inclinada e opaca esteja orientada ao Norte (para o hemisfério Sul), e a face vertical e transparente esteja orientada ao Sul aonde há melhor iluminação difusa no hemisfério Sul. Assim os módulos teriam a posição de integração justamente na face inclinada e orientada ao Norte. Para coberturas curvas também é possível a instalação com módulos de filmes finos aplicados em substratos flexíveis. Nas claraboias podem ser utilizados módulos translúcidos e semitransparentes, que permitem a passagem da luz por espaços entre uma célula e outra, ou então por novas células que são tão finas que deixam parte da luz atravessá-las (THOMAS, 1999).

Nas fachadas cegas os módulos podem ser utilizados como material de vedação integrante da construção, ou então podem ser

utilizados afastados da edificação criando uma ‘segunda pele’. Neste caso há a vantagem da ventilação na parte posterior dos módulos que melhora o seu desempenho. Dependendo da orientação da edificação, as fachadas inclinadas favorecem a instalação dos módulos já que a inclinação pode ser determinada em ângulo próximo à latitude local (THOMAS, 1999). No uso em brises os módulos também apresentam a vantagem de poderem ser utilizados de forma inclinada, adequando-se à latitude local. Em fachadas e brises os módulos podem ficar mais visíveis, e portanto, as definições do projeto devem ser feitas de forma mais cuidadosa, observando a qualidade da composição.

A Tabela 2 apresenta tipos de integração fotovoltaica, sendo uma espécie de vocabulário arquitetônico oferecendo soluções diversas para a mesma função, variando a localização dos módulos. Segundo Mitchell (2008) o vocabulário arquitetônico é constituído por diversos tipos de elementos arquitetônicos de um determinado conjunto. Na antiguidade alguns vocabulários eram utilizados para apresentar diversas soluções de janelas, de colunas, de adornos. Atualmente têm-se os vocabulários de componentes construtivos pré-moldados ou pré-fabricados utilizados através da modulação de projetos. O presente trabalho criou uma espécie de vocabulário com as possibilidades de BIPV já existentes no mundo, onde o arquiteto poderá observá-las e selecioná-las de acordo com as características que desejar.

O dimensionamento da potência a ser instalada em uma integração BIPV também influencia nas decisões arquitetônicas. O dimensionamento do sistema pode ser feito de acordo com as necessidades da edificação: buscar um balanço energético zero, dependendo do tipo de tarifa existente no país; instalar o máximo possível para ter na tarifa prêmio uma fonte de receita; ou ainda instalar conforme as necessidades da composição arquitetônica (ocupando áreas pré-definidas com tipos de módulos específicos) (THOMAS, 1999).

Alguns arquitetos também consideram que não basta a instalação de tecnologias renováveis nos edifícios, mas é necessário um pensamento integrado de *ecodesign*. Ken e Peter (2008) ressaltam que os edifícios devem ter uma arquitetura ecológica considerando toda relação que possuem com o meio e não serem avaliados somente por regras e pontos que atingem em certificações padronizadas. Neste caso os painéis fotovoltaicos devem estar integrados a um conceito da edificação, que engloba orientação, soluções passivas, questões culturais, construtivas, etc. As decisões para um design ecológico devem considerar o local de implantação, a orientação, configuração e materiais da edificação, e adaptar-se a eles. Este tipo de design tem seu conceito baseado nas relações dos indivíduos de um ecossistema natural, e vê na

geração fotovoltaica o melhor meio de geração energética, já que a energia inicia sua circulação na natureza a partir da transformação da luz do sol pela fotossíntese. E assim como as plantas se adaptam para receber mais luz, os edifícios também deveriam ter sua forma configurada para aproveitar ao máximo a irradiação solar.

Considerando todas as questões anteriormente mencionadas, que influenciam na integração arquitetônica, os BIPV podem adquirir as mais variadas características de composição, que podem ser analisadas e ponderadas pelos arquitetos.

A integração arquitetônica dos módulos fotovoltaicos tem um papel importante para a difusão da tecnologia, já que possui o potencial de alterar a qualidade da composição da edificação e a própria decisão de instalar ou não um sistema fotovoltaico. Isto porque integrações de qualidade podem contribuir para aumento do uso da tecnologia, enquanto que integrações desagradáveis podem resultar em aversão e diminuição do seu uso.

A integração arquitetônica é uma questão bastante expressiva para o desenvolvimento da tecnologia, tanto que a IEA (*International Energy Agency*) tem em seus programas de pesquisa em geração de energia um grupo específico (Task 7) sobre a qualidade da integração arquitetônica (SCHOEN *et al.*, 2001). Desde 1997 um grupo composto por pesquisadores de vários países tem trabalhado para remover barreiras (não técnicas) que dificultam a disseminação da tecnologia fotovoltaica. Segundo a IEA (SCHOEN *et al.*, 2001), e outros pesquisadores (REIJENGA, 2000; KAAAN e REIJENGA, 2004), os critérios estéticos mais comentados pelos arquitetos em relação à integração arquitetônica dos módulos FV aparecem na Tabela 3.



Tabela 3 – Critérios estéticos da integração arquitetônica. Adaptado de Schoen *et al.* (2001).

Critérios	Definições
Integração natural	Os módulos realmente aparentam fazer parte da estrutura e completam a mesma, não tendo a aparência de algo acessório;
Integração agradável	Os módulos fazem parte da concepção do edifício. Conceito ligado ao uso de brises de sombreamentos, onde além de gerar energia, os módulos também contribuem para economia energética da edificação;
Composição de cores e materiais	Os módulos integram-se aos demais materiais de construção, com cores e materiais similares;
Modulação	Aproveitando a característica modular da tecnologia, os módulos são integrados em uma grelha de desenho de toda a fachada, e não somente em um local pontual.
Respeito às características e tipologias arquitetônicas	Os módulos são selecionados com base nas suas diversas aparências para integração em edificações futuristas ou tradicionais;
Detalhes estéticos de instalação	Instalação sem cabeamentos ou ajustes que comprometam a percepção visual;
Projetos inovadores	A tecnologia é utilizada para contribuir com a concepção de projeto inovador da edificação.

O grupo de pesquisa da IEA (Task 7) foi finalizado em 2003 gerando um grande número de publicações sobre os sistemas fotovoltaicos integrados em edificações. Atualmente a equipe do IEA tem um novo grupo que trabalha com a integração fotovoltaica, mas em aplicação em escala urbana (Task 10). O grupo atual mantém um site ([www.pvdatabase.org](http://www.pvdatabase.org)) com vários exemplares de integrações arquitetônicas e informações detalhadas sobre o projeto. As buscas neste site podem ser feitas selecionando o país, ou o elemento construtivo de integração, o tamanho, entre outros. O site também apresenta 25 instalações consideradas como bons exemplos de integração arquitetônica, e um guia com módulos FV específicos para integração arquitetônica (IEA, 2011). As informações contidas neste site sobre diversos casos de integração arquitetônica foram utilizadas como base para a pesquisa deste trabalho em relação às características das integrações de sucesso, verificando se o site considera os bons exemplos por melhor qualidade estética ou por melhor solução construtiva.

No mercado atual já há uma considerável variedade de módulos fotovoltaicos, com placas rígidas e flexíveis, opacas ou transparentes, e ainda com diversas formas e cores, o que permite maior liberdade de

criação para os projetistas. Conforme Pagliaro *et al.* (2010), a escolha de um módulo para cada projeto depende da disponibilidade financeira, da necessidade construtiva e da característica da edificação (sua idade, seus materiais e sua orientação solar). Normalmente o principal elemento considerado para seleção de um módulo é a eficiência do mesmo, que refletirá na ocupação de maior ou menor área de cobertura e também no custo do sistema. Para satisfazer aos construtores e proprietários das edificações, a tecnologia fotovoltaica integrada à edificação deve permitir um aumento do valor econômico do imóvel através da utilização dos módulos como elemento eficiente de vedação e geração de energia, além de valorizar o aspecto visual.

Segundo Hagemann (2004) uma integração BIPV de sucesso seria aquela que proporcionasse a adequada inter-relação entre as questões estéticas, elétricas e construtivas, conforme a Figura 2.

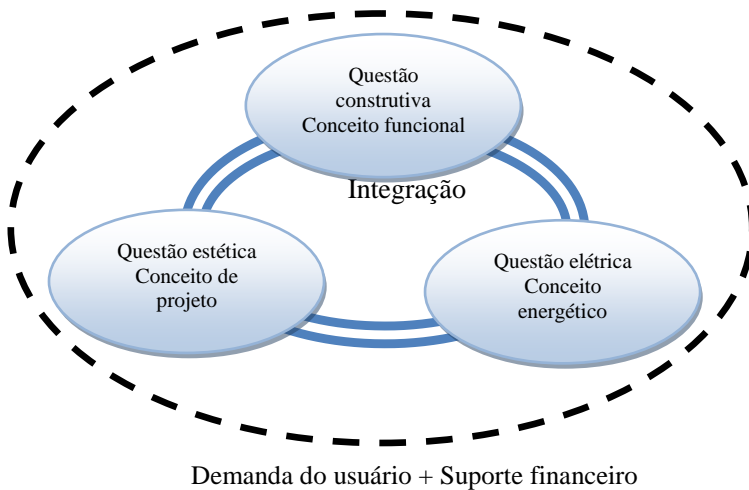


Figura 2 - A integração de sucesso de um BIPV é uma relação simbiótica.  
Fonte: (Hagemann, 2004)

Pagliaro *et al.* (2010) comentam que os antigos conflitos entre estética e geração de energia dos módulos já foram resolvidos pelos novos produtos FV existentes. Agora os módulos apresentam diversas opções para os arquitetos, que podem optar por exemplares que interagem de diversas formas na edificação, além de gerar energia. O desafio ainda reside no convencimento aos profissionais de optar pela tecnologia FV como substituta de outros materiais. Já que assim há diminuição de custo pela dupla função dos módulos, e também há

necessidade da opção pela tecnologia ser feita durante a fase de projeto, facilitando a integração do mesmo com o restante da edificação.

Para uma boa integração fotovoltaica é necessária uma análise detalhada, porque embora o projeto possa ser bem elaborado, os módulos comumente resultam em um elemento alheio à edificação. A compreensão do porque os módulos resultam em elementos estranhos é o caminho para uma integração completa da tecnologia à edificação, e permite uma melhor configuração formal, contribuindo para a divulgação e aceitação da tecnologia, além da contribuição à sustentabilidade do planeta (KAAN e REIJENGA, 2004).

As integrações que ocasionam resultados desagradáveis provêm da falta de conhecimento da tecnologia FV por parte dos arquitetos e clientes. O custo da integração e instalação correta também dificulta as boas soluções, onde por falta de conhecimento os arquitetos não conseguem convencer os clientes de que este custo é essencial para uma boa apresentação estética. Muitos investidores veem nas edificações um modo de instalação com retorno rápido do investimento, com edificações dirigidas a clientes variados para aluguel ou compra. Nestes casos a neutralidade da instalação é essencial, sem composições muito diferenciadas que possa afastar futuros clientes. Com a diversidade de aparência e formas da tecnologia fotovoltaica é possível a integração neutra, utilizando os módulos como materiais de vedação. Neste caso o custo dos módulos torna-se mais competitivo, já que grande parte dos materiais nobres de fachada também têm custos elevados (KAAN e REIJENGA, 2004).

Pagliaro *et al.* (2010) apresentam alguns casos de BIPV de sucesso integrados em: coberturas opacas, claraboias, fachadas semitransparentes e fachadas opacas. Como exemplo de uma boa integração em cobertura é citado o Salão Paolo VI (Figura 3) no Vaticano, onde telhas de concreto foram substituídas por módulos sob no edifício projetado por Pier Luigi Nervi. A integração resultou em uma cobertura sobreposta dos módulos fotovoltaicos acompanhando a curvatura e o perímetro da cobertura. Além de gerar energia, a nova cobertura promove sombreamento à laje e diminuiu o consumo dos condicionadores de ar. A utilização dos módulos em claraboias é citada com vários exemplos de sucesso já que estas integrações permitem maior liberdade de projeto na locação dos módulos e das superfícies transparentes criando efeitos interessantes de luz e sombra. A estação de trem de Lehrter em Berlin (Figura 4) é apresentada como um destes exemplos. Como a cobertura da edificação é curva, os módulos foram fabricados exclusivamente para este projeto. Na análise de janelas e fachadas semitransparentes, foram identificadas as qualidades do uso de

módulos FV semitransparentes, que permitem a passagem da luminosidade. A integração de sucesso citada é o edifício da Trondheim University of Science and Technology (Noruega) que utiliza módulos de vidro duplo que contribuem para o isolamento térmico e acústico (Figura 5). O edifício do Ferdinand-Braun Institute em Berlin (Figura 6) é citado como exemplo de integração em fachada opaca, na qual os módulos foram integrados em um plano diferenciado na fachada.



Figura 3 – Paolo VI Hall (Fonte: Bahnmoeller - Wikipedia).



Figura 4 – Estação central de Berlin. Percebem-se os módulos translúcidos no canto superior direito na imagem em contraste com o restante dos vidros transparentes (Fonte: Siemens).



Figura 5- Universidade Trondheim com módulos nas fachadas (fonte: <http://www.ecw.org>).



Figura 6 – Instituto Ferdinand-Braun (fonte: <http://www.solarfassade.info>).

Algumas pesquisas também têm focado na utilização dos módulos fotovoltaicos como parte da ‘pele’ do edifício, analisando o potencial de geração dos módulos ao seguir estritamente as formas arquitetônicas das fachadas (VANNINI, 2011). Este estudo demonstra que através de software de análise, a irradiação recebida por superfícies, determinando as perdas que os módulos possuem por acompanhar a forma arquitetônica. Vannini (2011) analisa principalmente formas complexas, ou desconstrutivistas, que possuem muitas faces em orientação e inclinação diferentes. Mesmo neste estilo arquitetônico é possível a integração fotovoltaica e a quantificação da geração, possibilitando ao arquiteto perceber como a adaptação da forma pode propiciar maior recebimento de irradiação solar.

As considerações sobre a integração dos módulos fotovoltaicos também aparecem de modo similar na integração de sistemas solares térmicos para aquecimento de água. Estes sistemas têm funcionamento bem diferente da tecnologia fotovoltaica, já que utilizam a irradiação solar para aquecer um fluído, mas visualmente são similares à tecnologia fotovoltaica porque também utilizam placas escuras instaladas sobre as coberturas. No entanto elas apresentam ainda maior dificuldade de integração com a tecnologia FV, isso porque as placas necessitam da circulação de um líquido, sendo maiores, mais espessas e pesadas e também por necessitarem de inclinação diferente dos módulos fotovoltaicos (já que coletores solares costumam ser inclinados em

ângulo superior à latitude para maximizar seu funcionamento no inverno).

Neste sentido, têm surgido algumas pesquisas sobre a integração dos sistemas solares térmicos à arquitetura (MUNARI PROBST e ROECKER, 2007) que podem ser úteis para a análise da integração dos sistemas FV. Esse estudo comenta a dificuldade de integração arquitetônica dos sistemas de aquecimento, o que pode ser uma barreira para a disseminação e aceitação desta tecnologia. Para identificar as dificuldades da integração o estudo fez uma pesquisa com arquitetos e engenheiros europeus questionando-os sobre a qualidade de algumas integrações de sistemas solares térmicos à arquitetura. As respostas dos entrevistados mostraram consistência entre os arquitetos, mesmo entre profissionais de diferentes locais. Já entre os engenheiros houve respostas diversas para a mesma análise, o que ressalta a importância dos arquitetos para trabalhar com a qualidade da integração arquitetônica. Também houve um contraste entre as respostas dos arquitetos e as dos engenheiros. Assim eles foram separados em dois grupos, sendo as respostas dos arquitetos consideradas mais significativas para o critério de qualidade da integração arquitetônica, e o grupo dos engenheiros foi utilizado para compreender os pontos em comum entre as duas profissões que deverão ser valorizados para o trabalho em conjunto.

Os resultados deste estudo sobre os aquecedores solares para integrações em fachadas mostram que a integração com melhor nota foi a de uma edificação onde os coletores ocupam todo o parapeito de uma sacada, com tamanho e forma que acompanham a malha da edificação, imprimindo ritmo à fachada (Figura 7). A cor preta dos coletores também foi indicada como satisfatória e auxilia na integração. A edificação com desempenho menos satisfatório foi um conjunto de prédios onde se percebia claramente a presença dos coletores aplicados na edificação (Figura 7); um deles que apresentava um mosaico com os coletores de cores diferentes foi bastante questionado em relação à estética.

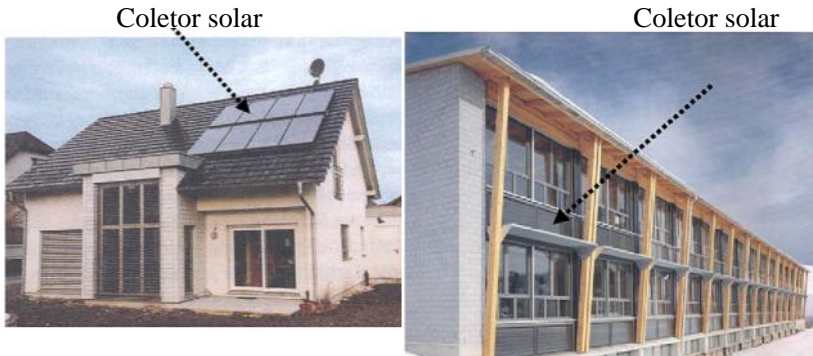


Figura 7 – Na edificação à esquerda é apresentada a integração com as menores notas e à direita é apresentada a integração com as maiores notas (Fonte: MUNARI PROBST e ROECKER, 2007).

No estudo sobre as integrações das fachadas os resultados foram semelhantes: as edificações com coletores que serviam como vedação e ocupavam toda a cobertura, receberam notas mais altas, embora a cor azul não tenha sido considerada apropriada. As coberturas onde os coletores foram aplicados do modo comum (sobrepostos em parte do telhado) obtiveram as menores notas. Em relação às cores os arquitetos tiveram preferência sobre as integrações com coletores pretos, salientando que a questão estética é mais complexa de resolver, do que só oferecer coletores com cores diversas.

No geral os arquitetos salientaram nessa pesquisa quatro itens fundamentais para a integração com qualidade: o uso dos coletores térmicos como material de construção, facilitando a composição com suas diversas funções, e diminuindo o número de elementos na edificação; definição do posicionamento e tamanho do sistema de acordo com a fachada e a cobertura como um todo, e não como o telhado ou a fachada sendo partes independentes; que as cores e materiais das placas devem ser escolhidas juntos com os outros materiais que irão compõem a edificação e o entorno; e que o tamanho e forma do coletor deve ser escolhido em relação com a malha que rege a composição da edificação (as juntas entre os coletores podem servir como ajustes). Estes itens salientados pelo trabalho de Munari Probst e Roecker (2007) mostram a importância da escolha do produto certo para cada projeto, e também do conhecimento necessário pelo projetista, elementos estes que foram utilizados como base para a proposta de software para auxiliar a integração arquitetônica deste trabalho.



Na preocupação com a composição formal dos BIPV, várias pesquisas têm sido desenvolvidas para indicar o caminho e salientar as características válidas das integrações arquitetônicas de sucesso (HAGEMANN, 2004; KAAAN e REIJENGA, 2004; PRASAD e SNOW, 2004). Essas pesquisas são apresentadas a seguir, mostrando as edificações que são qualificadas pelos referidos pesquisadores como bons exemplares de integrações.

A própria IEA apresenta em seus relatórios algumas edificações consideradas como de sucesso, como o edifício de escritório da Cooperativa Migros, em Zurich (Figura 8) (IEA, 2010).

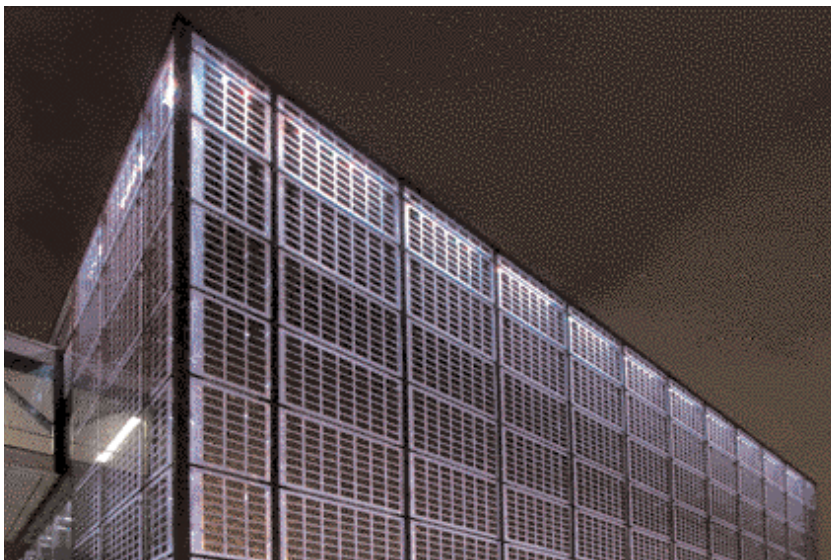


Figura 8 – Integração fotovoltaica na fachada de um edifício em Zurich, considerada como integração de sucesso. Fonte IEA (2010).

A boa integração arquitetônica deve considerar o ambiente no qual a edificação está sendo projetada, principalmente em locais com calor extremo, onde os módulos sofrem redução de eficiência pela alta temperatura. Na Austrália ocorrem estas situações de altas temperaturas e estudos (PRASAD e SNOW, 2004) analisam a qualidade arquitetônica dos BIPV no país, também apresentando exemplares de algumas integrações de sucesso, indicando as características da mesma (Tabela 4).

Tabela 4 – Integrações BIPV consideradas de sucesso na Austrália, por Prasad e Snow (2004).

Casos apresentados	Imagem do BIPV
<p>Vila Olímpica de Sydney:</p> <p>As residências possuem integração FV nas coberturas, que somadas seriam suficientes para abastecer 2000 casas. A cor da camada base foi trocada de branco para preto, por uma questão estética, mas resultou em perdas de eficiência de 2% ocasionado pelo aumento da temperatura do módulo.</p>	 <p>(Fonte: <a href="http://www.pvdatabase.org">www.pvdatabase.org</a>)</p>
<p>Solar Kogarah</p> <p>O projeto previu a instalação de módulos de silício amorfo em bases flexíveis para a instalação. A instalação feita em um bairro do subúrbio utilizou edificações já existentes, e teve de trabalhar com análises de sombreamentos.</p>	 <p>(Fonte: <a href="http://www.re-systems.ee.unsw.edu.au">http://www.re-systems.ee.unsw.edu.au</a>)</p>

### Universidade de Melbourne

O sistema foi integrado na fachada de um prédio com arquitetura inovadora. Os módulos são de silício multicristalino sobre vidro.



(Fonte: [www.intelisol.com](http://www.intelisol.com))

### CSIRO Centro de Energia

O sistema de corantes sensibilizados encapsulado em um sanduíche de vidro foi instalado em uma parede inclinada.



(Fonte: [www.junmasoft.com](http://www.junmasoft.com))

### Edifício FKP em Brisbane

O edifício conta com a instalação de 28 kWp de módulos de silício amorfo no telhado e também em elementos de sombreamento.



Fonte: Gert Stobbe ([infinity.club](http://infinity.club))

A Alemanha é um dos países com maior desenvolvimento na tecnologia fotovoltaica e também com diversos casos de BIPV. Pela disponibilidade tecnológica e pesquisas na área, os BIPV na Alemanha vêm demonstrando que com o uso correto dos módulos e a criatividade dos arquitetos, é possível obter edificações com alta qualidade estética (HAGEMANN, 2004). Os exemplos de integrações são apresentados na Tabela 5, e foram selecionados por Hagemann (2004) como exemplos que possuem alta qualidade arquitetônica, boas soluções elétricas e estrutura bem projetada.

Tabela 5 – Exemplos de integrações consideradas de sucesso na Alemanha por Hagemann (2004).

Casos apresentados	Imagem do BIPV
<p>Pavilhão Meereslauschen Esta edificação encontra-se em um resort em uma ilha, e agrupa funções diversas entre cafés e garagem de barcos. Os materiais utilizados na edificação foram madeira, alumínio e policarbonato. O sistema fotovoltaico é instalado na cobertura inclinada e é semitransparente. As dimensões dos módulos acompanham a malha estrutural da edificação.</p>	 <p>(Fonte: <a href="http://www.xalex.de">www.xalex.de</a>)</p>

Associação de comércio de madeira

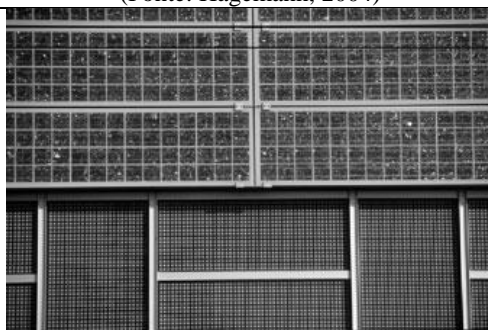
O edifício é composto de base e torre, a face Sul da torre possui uma faixa central de módulos de silício policristalino, que alonga a edificação. A face Sudeste é composta por módulos opacos sobre vidro, e as restantes são cobertas também por módulos de vidro, mas semitransparentes, criando um efeito de luz e sombra no interior.

A integração dá ao edifício um ar inovador, e os módulos se relacionam bem com os outros materiais e desenho da fachada. Os módulos chamam atenção e auxiliam a qualificar este espaço construído.



(Fonte: Hagemann, 2004)

Bavarian Allianz  
Este edifício de escritórios é composto por duas torres e utiliza metal e revestimento granulado. A fachada é dividida em seis espaços, onde quatro deles são revestidos com módulos fotovoltaicos, mantendo a harmonia por utilizar a mesma cor e tamanho dos outros materiais. Na fachada com revestimento metálico os módulos também respeitam o mesmo tamanho das placas metálicas e possuem moldura da mesma cor.



(Fonte: Hagemann, 2004)

### Academia Mont Cenis

O edifício é uma pele externa de vidro que abriga várias edificações de madeira no seu interior. A instalação fotovoltaica de 1 MW foi feita para evitar o aquecimento extremo durante o verão. Os módulos são semitransparentes, e proporcionam além da geração de energia, sombra e luz ao interior da edificação. A instalação ocupa todo o telhado que possui uma inclinação de 5% e também a fachada Oeste. Os módulos são de vidro apoiados em estruturas de alumínio que contêm a fiação e descarregam a carga sobre a estrutura de madeira. O afastamento entre cada célula e o tipo de vidro dos módulos foi calculado por modelação computacional para garantir um nível adequado de iluminação interna, gerando seis tipos de módulos para serem utilizados.

Os potenciais de geração calculados ainda não foram atingidos. Especula-se que a ventilação natural dos módulos não seja tão eficiente e que as inclinações utilizadas foram subestimadas. Mesmo assim a edificação é um marco na integração.



(Fonte: [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org))

Os projetos alemães apresentados demonstram as instalações mais inovadoras, onde houve grande interesse dos proprietários para a

instalação da tecnologia FV. Na maioria dos casos os arquitetos projetistas optaram por usar módulos fabricados especificamente para a edificação, fazendo com que houvesse melhor integração das placas. Deste modo, o custo da tecnologia foi ainda maior, somente admitido porque a tecnologia permite uma grande propaganda ambiental. Para tornar a tecnologia mais barata e atrativa aos arquitetos, devem ser produzidos módulos em série que melhor se adaptem às suas ideias, com cores e formas variadas (HAGEMANN, 2004).

Alguns exemplos de BIPV também podem ser encontrados no site da SDA (*Solar Design Associates*), sociedade fundada pelo designer Steven Strong que trabalha com BIPV nos Estados Unidos (SDA, 2011). Os projetos de BIPV executados por esta sociedade contam com arquitetos, engenheiros e construtores, resultando em edificações com desempenho técnico e qualidade estética. As ações do grupo ocorrem em BIPV e BAPV incluindo também integrações de energia eólica e aquecedores solares. As integrações deste grupo também foram analisadas na etapa de caracterização arquitetônica dos BIPVs.

A arquiteta norueguesa Anne Grete Hestnes trabalha com as integrações arquitetônicas de módulos fotovoltaicos exigindo também outras estratégias de eficiência energética para classificá-los como edifícios solares. O projeto de edifícios solares deve ser um projeto integral, holístico, onde a edificação tenha análise do seu ciclo de vida, uso de recursos naturais, cálculo de emissões, qualidade arquitetônica, conforto ambiental no seu interior e também funcionalidade. Estas características são baseadas na lista de critérios de um grupo da IEA (Task 23). A arquiteta também defende que com um projeto adequado, poderia ser modificado o conceito de que a melhor integração arquitetônica é a aquela aonde o módulo não aparece, para considerar como melhor integração aquela em que a integração do módulo é visível e valorizada (HESTNES, 1999).

Alguns pesquisadores também já têm se detido na questão do compromisso da integração com a forma (estética) e a função (máxima geração) (URBANETZ *et al.*, 2011). Estes pesquisadores analisaram uma integração projetada como um BIPV que utilizou módulos que se adequassem às características formais da composição, uma cobertura curva com módulos orientados a nordeste e Sudoeste. A geração deste sistema BIPV foi comparada com outra instalação na mesma cidade, mas instalado na posição ideal. As gerações dos sistemas apresentaram diferenças mensais de geração (no inverno o BIPV teve geração mais baixa que o sistema ideal, mas no verão o BIPV apresentou maior geração), resultando em menor diferença no rendimento anual (o BIPV teve geração anual entre 7 e 15% mais baixa que o sistema de

referência). Este artigo demonstra que alterações na posição de instalação para favorecer a integração à composição arquitetônica, podem ter pouco impacto na geração dos sistemas.

Nesta revisão bibliográfica percebe-se que as integrações arquitetônicas apontadas por pesquisadores como satisfatórias, demonstram casos bem diferentes. Alguns pesquisadores consideram como integrações satisfatórias aquelas que estão tecnicamente bem integradas e em perfeito funcionamento (PRASAD e SNOW, 2004); outros valorizam mais a questão da composição formal, onde os exemplos selecionados mostram a tecnologia fotovoltaica perfeitamente integrada na edificação (HAGEMANN, 2004), e outros ainda mostram ambos os aspectos. Deste modo percebe-se que a ferramenta proposta neste trabalho deve contemplar ambos os campos da forma e da função, considerando o melhor funcionamento da tecnologia e orientando as possibilidades de integração na composição formal.

### 2.3. FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO DE PROJETO

As ferramentas de apoio à decisão de projeto são utilizadas na área de produção, fabricação de objetos, e também na construção civil, de forma a agregar valor à construção do objeto edificação. As ferramentas podem funcionar na forma de matrizes onde inter-relacionam requisitos do produto e levam o projetista a ter um olhar mais cuidadoso a alguns aspectos ou também podem oferecer apoio ao processo criativo.

A tomada de decisão é o ato de escolha entre diferentes alternativas e oportunidades, o processo de decisão compreende desde a identificação de uma situação problema, até a escolha e colocação em prática da solução. As cinco fases do processo de tomar decisões são segundo Maximiano (2009) e Bateman e Snell (1998): identificação do problema ou oportunidade, diagnóstico, geração de alternativas, escolha de uma alternativa e avaliação da decisão. Este processo busca minimizar erros e aumentar o grau de certeza de decisões, a partir de uma decisão lógica e coerente com o problema apresentado. Neste conceito enquadra-se a inserção da tecnologia fotovoltaica na edificação, que é um problema que deve ser resolvido pelos arquitetos, considerando todas as premissas que a tecnologia e a edificação exigem.

Dentre as ferramentas que auxiliam no processo de decisão existem várias técnicas utilizadas, que foram pesquisadas com o intuito de identificar a metodologia a ser utilizada para elaboração da ferramenta deste trabalho: desdobramento da função qualidade, processo



de análise hierárquica, teoria da solução inventiva de problemas, projeto axiomático, e árvore de decisão.

O Desdobramento da Função Qualidade (DFQ) considera desde as necessidades do cliente até os requisitos de produção e processos de fabricação (SAMPAIO *et al.*, 2010). O DFQ é bastante utilizado na arquitetura para transformar as necessidades do cliente em atributos de projeto arquitetônico. Outra ferramenta do tipo matriz é o Processo de Análise Hierárquica (AHP em inglês, *Analytical Hierarchy Process*) que auxilia na tomada de decisões subjetivas, definindo prioridades e avaliações de custo benefício. Na AHP são dados pesos aos itens e calculadas as relações entre eles por fórmulas geométricas. Como resultado as fórmulas salientam o peso da melhor opção (SAMPAIO *et al.*, 2010).

Dentre as ferramentas que trabalham com apoio ao processo criativo, existe a Teoria da Solução Inventiva de Problemas. Esta é conhecida como TRIZ e foi criada a partir da análise de diversas patentes de produtos, onde se percebeu um padrão nas soluções criativas. A TRIZ busca substituir o processo criativo de tentativa e erro, utilizando 40 princípios inventivos, no qual o projetista pode tentar utilizar cada princípio para satisfazer sua necessidade e verificar a validade (SAMPAIO *et al.*, 2010). O Projeto Axiomático também é uma ferramenta que trabalha com a criatividade, e busca orientar o projetista sobre os princípios generalizados que definem o processo de projeto. Os princípios que devem ser contemplados são o domínio do usuário (o que o cliente quer), o domínio funcional (o que o profissional deseja), o domínio físico (como pode ser obtido) e por fim o domínio do processo (formado pela junção dos outros domínios) (SAMPAIO *et al.*, 2010).

Estas ferramentas de apoio à decisão de projeto são aplicadas em diversas áreas e resultam em vários produtos. Na área da tecnologia fotovoltaica existem vários softwares de apoio ao projeto dos sistemas. A maior parte deles utiliza a metodologia do Projeto Axiomático, onde o projetista entra com dados prévios das necessidades do cliente e de suas opções de trabalho, e o programa trabalha estes dados em como a solução pode ser obtida, oferecendo como resultado uma solução que é o domínio do processo, que respeita todas as informações passadas.

Outro método utilizado como suporte à tomada de decisões é a árvore da decisão ou estado-ação. Neste caso cada estado é modificado por uma ação que leva a um novo estado. O estado inicial é a raiz sobre a qual se abre um leque de ações a serem tomadas. Quando foi tomada uma ação haverá um novo estado, que por sua vez terá novas opções de ações. Os galhos da árvore podem ser infinitos conforme as possibilidades que houver (MITCHELL, 2008). Esta ferramenta é

bastante utilizada na área de inteligência artificial e pesquisa operacional e auxilia o caminho de tomada de decisão.

A árvore de decisão é uma técnica que auxilia a visualização das possibilidades que o projetista deve considerar. A estrutura e o desenho da árvore resumem a complexidade do problema, mostram vantagens e desvantagens, mas não apontam qual a decisão a tomar, já que esta é uma ação humana que envolve uma escolha pessoal (MAXIMIANO, 2009).

Alguns softwares oferecem apoio às decisões que envolvem um projeto fotovoltaico, principalmente relacionado às decisões da configuração elétrica do sistema, do posicionamento dos módulos e de monitoramento dos sistemas. Vários destes programas podem ser encontrados disponíveis na internet (LENARDIC, 2010) e foram criados por pesquisadores ou empresas ligadas ao setor fotovoltaico.

Dentre os softwares que permitem a simulação do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos existem o TRNSYS, PVSYS, PVSOL, INSEL e HOMER, entre outros (LENARDIC, 2010). O TRNSYS é um dos programas mais utilizados no projeto de sistemas solares térmicos que trabalha com a simulação de sistemas transientes com uma estrutura modular; assim ele reconhece a linguagem de definição de um sistema com componentes e tipos de conexões especificadas pelo usuário. O programa também possui uma biblioteca com elementos relacionados à energia térmica e elétrica, além de rotinas para trabalho com dados meteorológicos. Este programa é muito usado por engenheiros em trabalhos com energia solar, outras renováveis, cogeração e célula combustível (WINCOSIN, 2010).

Para a análise do local de instalação podem ser utilizados os programas ECOTECH, SOMBRERO, Shadow Analyser, entre outros (LENARDIC, 2010). O ECOTECH é um programa da Autodesk que funciona em uma base CAD e permite a análise e simulação do projeto proposto em relação à irradiação e sombreamento que as faces da edificação recebem. A partir da irradiação e de um banco de dados de componentes do sistema fotovoltaico, o programa também simula a geração possível (AUTODESK, 2010)

Além da base CAD, outros softwares de modelagem também têm sido usados na proposta de projetos arquitetônicos. Um destes é o software Rhinocero (© 2012 Robert McNeel & Associates) que possibilita a utilização de uma grande variedade de programas de apoio (*plugins*) para simulação e projetos com integração de elementos sustentáveis e análise climática, como o DIVA-for-Rhino (© 2012 - 2013 Solemma).

O endereço eletrônico mantido por pesquisadores suíços (ISAAC, 2011) que pesquisa exclusivamente a integração arquitetônica apresenta uma listagem de 30 softwares que auxiliam o projeto de sistemas fotovoltaicos. Os softwares apresentados trabalham na definição e comparação entre diferentes soluções, fornecendo dados para definição de módulos e equipamentos, cálculo de sombreamento, custos de instalação e dados meteorológicos.

A empresa SMA Solar Technology trabalha com a fabricação de equipamentos para sistemas fotovoltaicos (inversores, controladores e sistemas de aquisição de dados) e também desenvolveu alguns softwares de armazenamento de dados climáticos, monitoramento dos sistemas e também de configuração dos sistemas fotovoltaicos. O software Sunny Design (SMA, 2012) auxilia na configuração e dimensionamento de um sistema fotovoltaico, focado principalmente na definição e venda do inversor da empresa. No software encontram-se os dados de irradiação para o local (dados para as principais capitais do mundo todo), tipos de módulos, inversor mais adequado, dimensionamento dos cabos, configuração elétrica do sistema e estimativas de geração. É um software bastante completo para projetistas de sistemas fotovoltaicos, mas também não apresenta nenhuma relação com a configuração arquitetônica. Acompanhando a modernização dos softwares e dos equipamentos de informática, a SMA também apresenta um aplicativo para iPhone para auxiliar na verificação da viabilidade de instalação do sistema em uma superfície. Basta apoiar o iPhone sobre a superfície em que será instalado o sistema que o SolarChecker (SMA, 2012) identifica a orientação e inclinação da mesma e seleciona em seu banco de dados o rendimento (*Yield*) para esta localização (também com banco de dados para o mundo todo), a partir disto o sistema necessita dos dados de potência a ser instalada (ou área disponível) e então disponibiliza a geração total anual e a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada. Também é possível fazer uma estimativa financeira do sistema, indicando o valor pago pela energia gerada, o custo de aquisição do sistema, se houver financiamentos e o tempo de retorno esperado. Com estes dados o aplicativo calcula os ganhos financeiros no período apresentado. Em poucos minutos é possível ter uma estimativa geral do funcionamento do sistema, verificando a viabilidade de instalação. Este aplicativo também é bastante útil para os projetistas, mas tem funcionamento mais direcionado à BAPV, já que necessita que o iPhone esteja sobre a superfície real em que se deseja instalar o sistema.

No Brasil, um software bastante utilizado para estimativa da irradiação é o RADIASOL. Este programa foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e possibilita a simulação da

irradiação recebida por uma face da edificação a partir da sua localização, inclinação e orientação. O programa também permite a inserção manual de dados de irradiação para cálculos mais específicos (UFRGS, 2010). A partir dos dados de irradiação recebida pela face (específica em cada horário e dia) o projetista pode calcular a energia gerada pelo sistema fotovoltaico proposto. Os dados gerados por este programa serão utilizados para alimentar a ferramenta proposta por este trabalho, já que a ferramenta não irá calcular os índices de irradiação.

Outro programa brasileiro, também desenvolvido pela UFRGS é o PVSIZE. Este programa auxilia o projetista no dimensionamento da instalação dos componentes do sistema fotovoltaico. O programa possui uma biblioteca com equipamentos disponíveis no mercado e trabalha de acordo com as informações de demanda energética fornecida pelo usuário.

Atualmente ocorrem pesquisas no Brasil que também estão focadas no desenvolvimento de softwares para auxiliar no projeto de sistemas fotovoltaicos. Um dos softwares em desenvolvimento é um programa de apoio ao software Sketchup (TRIMBLE, 2012), este último, um software de modelagem em três dimensões bastante difundido no meio arquitetônico, que possibilita o cálculo de sombreamento dos painéis fotovoltaicos, indicando o percentual de irradiação que não será recebido pelos módulos devido ao sombreamento de elementos próximos (MELO e GRIMONI, 2012). Quanto ao desempenho elétrico do sistema, há um trabalho que busca o desenvolvimento de um software em supervisorio aberto para monitoramento remoto de geração fotovoltaica, e outro que trabalha com a análise elétrica do sistema fotovoltaico conectado à rede (PINTO-FILHO *et al.*, 2012).

Dentre os softwares encontrados, todos são úteis para as definições de projeto elétrico principalmente e simulações de geração energética, mas nenhum deles fornece dados para auxiliar na composição formal da integração arquitetônica. Pesquisadores sobre as técnicas de vedação fotovoltaica da arquitetura (CHIVELET e SOLLA, 2010) também listam alguns softwares que podem auxiliar nos projetos fotovoltaicos, mas nenhum dos softwares citados trata diretamente da arquitetura. Eles somente apresentam soluções para dimensionamento elétrico do sistema e bases de dados meteorológicos. Diante disto percebe-se a validade de criar um software focado nas possibilidades de integração arquitetônica, que é o foco desta tese.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho compreendeu as etapas apresentadas na Figura 9. O fluxograma apresenta a sequência de trabalhos executados até atingir o objetivo geral do trabalho, que é a elaboração da ferramenta de apoio ao projeto.

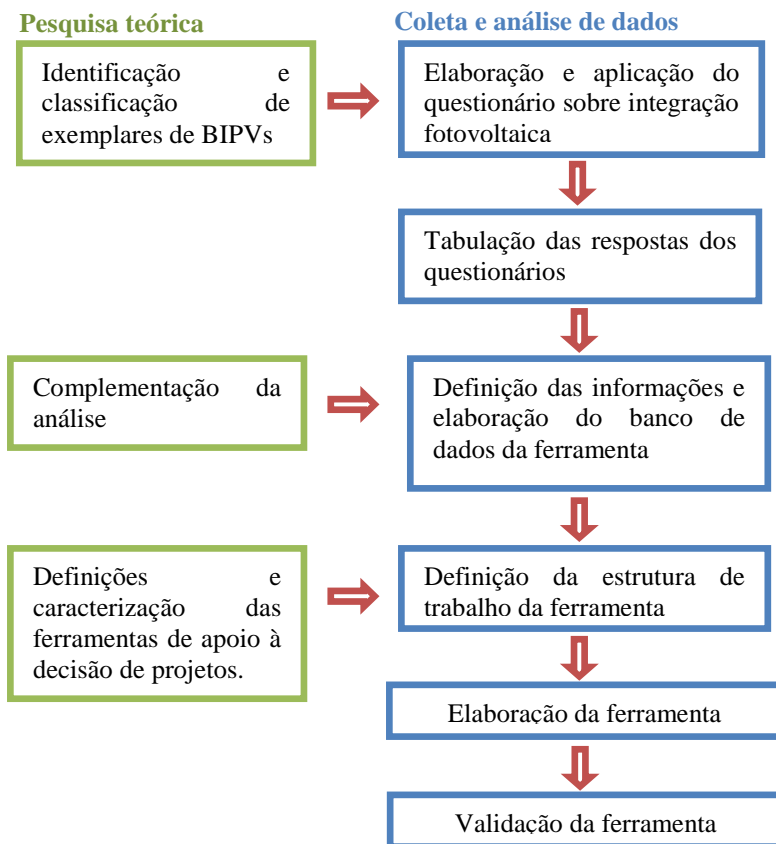


Figura 9 – Fluxograma da metodologia de trabalho

O desenvolvimento da metodologia do trabalho pode ser dividido em duas grandes etapas: a pesquisa teórica e a coleta e análise de dados. A pesquisa teórica foi elaborada primeiramente, sendo apresentada na revisão bibliográfica e também nos resultados, servindo de apoio às etapas de coleta e análise dos dados.

A sequência metodológica foi baseada nas etapas de resolução de problemas que estruturam as tomadas de decisões, apresentadas por Maximiano (2009): inicia-se pela identificação do problema em uma situação de frustração, desafio ou interesse (desafio da utilização da tecnologia fotovoltaica integrada à edificação, que se traduz no objetivo geral deste trabalho); o diagnóstico, que procura entender o problema e identificar suas causas e consequências (feito através da pesquisa com arquitetos sobre a utilização da tecnologia FV); a terceira etapa é a geração de alternativas, que ocorre a partir das ideias e propostas (representado pela identificação e seleção de exemplares existentes de BIPVs); a quarta etapa trabalha com a escolha de uma alternativa, aonde as mesmas são julgadas, avaliadas e comparadas (momento da estruturação e elaboração da ferramenta para auxiliar as escolhas do projetista, considerando as necessidades da tecnologia FV); e por último a etapa de avaliação da decisão, quando a decisão é implementada e seus efeitos podem ser avaliados, reiniciando o ciclo se necessário (o que ocorreu na validação da ferramenta).

A primeira etapa do trabalho foi composta da pesquisa teórica, encontrada na revisão bibliográfica, sobre os assuntos pertinentes ao tema que serviram de base para o desenvolvimento do trabalho. A revisão bibliográfica já apresentada neste volume elucida questões teóricas e práticas sobre a tecnologia fotovoltaica com foco nos BIPV, composição arquitetônica e também sobre as ferramentas de apoio à decisão de projeto. Esta parte trata das questões de funcionamento e utilização da tecnologia fotovoltaica, bem como o mercado atual e projeções futuras da tecnologia, visando situar o tema do trabalho e salientar os desafios presentes na tecnologia em que este trabalho poderá vir a contribuir. A análise de alguns princípios da composição arquitetônica salientaram as características que os módulos fotovoltaicos transmitem à edificação a partir da relação deles com os outros materiais construtivos. Esta parte foi fundamental para poder identificar e classificar os BIPVs existentes e também para orientar a elaboração dos tópicos da pesquisa de campo com os arquitetos. A revisão ainda contou com uma etapa específica sobre as ferramentas de apoio à decisão de projeto, feita para compreender a conceituação e os objetivos da mesma, orientando a elaboração da ferramenta que este trabalho propõe.

A etapa de coleta e análise de dados foi feita em três momentos: identificação e classificação dos BIPV; pesquisa de campo e; elaboração da ferramenta.

Primeiramente foi feita uma classificação dos exemplares de BIPV, identificando suas características principais para posterior utilização na pesquisa e no banco de dados da ferramenta. Na segunda

parte foi elaborado e aplicado um questionário para arquitetos sobre o que eles sabem sobre energia solar fotovoltaica. O questionário englobou quais os conhecimentos que os arquitetos detêm, quais conhecimentos seriam necessários para maior utilização da tecnologia e quais as características de composição que consideram mais importantes nos BIPVs. O questionário serviu para rever a análise das integrações feitas anteriormente, identificando se alguma característica de integração foi sub ou superestimada, e também permitiu identificar as questões a serem trabalhadas pela ferramenta. A terceira etapa foi composta da definição e elaboração da ferramenta de apoio ao projeto. Esta etapa utilizou as etapas anteriores, pesquisa teórica dos BIPV e questionário com arquitetos, como base para definir os conhecimentos abrangidos pela ferramenta. A caracterização da ferramenta compreendeu quais os elementos que deveriam ser trabalhados, identificando quais as informações de entrada (a serem fornecidas pelo usuário) e quais as informações de saída (respostas dadas pela ferramenta a partir das informações do usuário). Esta caracterização buscou identificar quais seriam os resultados que auxiliariam nas decisões do projeto arquitetônico, respeitando as características da tecnologia FV, as possibilidades de composição arquitetônica e a criatividade do projetista. Nesta etapa a ferramenta foi delimitada em suas ações e objetivos, identificando inclusive em qual etapa do processo de projeto ela traria maiores contribuições.

Conforme observado na pesquisa da revisão bibliográfica, existem várias metodologias para elaboração de uma ferramenta de apoio ao projeto, dentre as quais foi selecionado trabalhar com a metodologia da árvore de decisão. A estrutura arborescente trabalha na forma de estados e ações, onde a partir de um estado inicial com várias opções de ações, levam a novos estados, e cada estado possui novas opções de ação, e assim continuamente. No caso da ferramenta deste trabalho, ao ir preenchendo as opções de ações o usuário da ferramenta vai sendo encaminhado para as alternativas de integração que melhor se adaptam à sua situação.

As últimas etapas do trabalho consistiram na elaboração da ferramenta em si, na forma de um programa de computador de simples interface para ser utilizada principalmente por arquitetos e urbanistas, e na validação da ferramenta.

### 3.1. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE BIPVS

Na utilização da tecnologia fotovoltaica integrada à edificação, os módulos FV atuam como materiais integrantes da pele da edificação,

participando da composição arquitetônica. Além disso, o modo como é feita a integração também interfere nas características de desempenho da tecnologia. Assim a integração deve respeitar tanto a composição arquitetônica quanto as necessidades da tecnologia. Na prática já existe uma variedade de exemplares de BIPVs em funcionamento no mundo, adaptados a vários conceitos de integração arquitetônica e com diversos desempenhos.

Neste trabalho foi levantado um número expressivo de projetos de BIPV existentes (cerca de 325). A identificação dos BIPVs foi feita através de vários bancos de dados existentes, entre eles: o site do grupo suíço BiPV (ISAAC, 2011); os projetos do arquiteto Rolf Disch (DISCH, 2011), dados do PV database (IEA, 2011) e também de exemplares existentes no Brasil (FV-UFSC, 2011).

A análise de cada exemplar abrangeu uma identificação geral do projeto, similar à classificação trabalhada em alguns bancos de dados, como: local de integração dos módulos na edificação, características arquitetônicas dos módulos, características tecnológicas dos módulos, tipo de uso da edificação, localização da edificação e projetista. O banco de dados foi elaborado dentro de um arquivo de planilha para facilitar o trabalho com os dados. Os dados foram levantando conforme a Tabela 6 para cada um dos BIPVs analisados.

Tabela 6 – Ficha de identificação do BIPV.

Nome da Edificação
Foto
Localização
Projetista
Uso da Edificação
Tipo da integração
Característica arquitetônica
Visualização da integração:
Local da integração:
Face de integração
Vedação
Substrato do módulo
Moldura do módulo
Tecnologia do módulo
Presença de diferentes materiais na edificação
Fonte dos dados

Como o objetivo do trabalho é pesquisar exclusivamente as integrações fotovoltaicas à arquitetura, não foram incluídas na



classificação as instalações de sistemas em espaços livres, separados da edificação.

Esta etapa resultou em um banco de dados com listagem de variados tipos de BIPVs com a identificação das características da integração arquitetônica. Esta classificação foi essencial para compor o banco de dados presente na ferramenta.

### 3.2. ENTREVISTAS COM ARQUITETOS SOBRE INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA NA ARQUITETURA

A realização das entrevistas compreendeu a segunda etapa da metodologia de desenvolvimento do presente trabalho.

O foco da pesquisa foi trabalhar somente com arquitetos (excluindo engenheiros civis ou mesmo usuários das edificações), já que o objetivo da pesquisa está direcionado ao processo de integração dos módulos fotovoltaicos na composição arquitetônica. Outra razão foi de que Munari Probst (2007) fez uma pesquisa similar entrevistando engenheiros e arquitetos sobre a integração de coletores solares na edificação. Naquela pesquisa foi observado que as respostas dos arquitetos apresentaram maior uniformidade, enquanto os engenheiros apresentaram divergências entre suas opiniões, dificultando o reconhecimento de suas preferências. Lawson (2004) também comenta que os arquitetos e designers possuem um modo de pensar único, que os difere dos engenheiros e mesmo de seus clientes, sendo capazes de fornecer soluções e produtos que satisfaçam, e até superem, as necessidades e condicionantes apontadas por seus interlocutores, sejam usuários ou profissionais.

A entrevista com arquitetos sobre a integração fotovoltaica foi feita através de um questionário. Este foi elaborado buscando identificar quais os conhecimentos que eles possuem sobre a tecnologia fotovoltaica e quais conhecimentos que eles desejariam ter para que a utilizassem. O questionário também apresentou alguns tipos de integrações fotovoltaicas para que os arquitetos expressassem suas preferências em relação à composição arquitetônica da integração dos módulos na edificação.

Os questionários são comumente utilizados em pesquisas nas ciências sociais, buscando fazer a caracterização de uma amostra da população a ser estudada. Günther (2003) salienta que o questionário é útil por identificar a opinião e interesse da população e não tentar medir a sua habilidade, o que é justamente o objetivo desta etapa do trabalho, identificar o interesse e opiniões dos arquitetos sobre a tecnologia fotovoltaica. O mesmo autor ainda comenta que a elaboração do

questionário deve considerar alguns fatores para aumentar as taxas de resposta, convencendo mais participantes a responder a pesquisa. Entre estes fatores está: buscar impessoalidade nas respostas; divulgar a afiliação e identificação do pesquisador e o contexto e objetivos da pesquisa.

Buscando atingir maior índice de respostas, o questionário foi estruturado com perguntas estritamente profissionais (para não criar constrangimentos com assuntos pessoais) e citando no questionário que o mesmo é procedente de uma pesquisa de pós-graduação da UFSC (afiliação do pesquisador). O contexto do questionário foca um tema atual (sustentabilidade) e o conhecimento exigido do entrevistado foi sua própria concepção da qualidade da composição arquitetônica (independente do funcionamento técnico dos módulos FV). Também foi disponibilizado no questionário um breve resumo sobre a tecnologia fotovoltaica, esclarecendo algumas informações sobre a mesma. Estas posturas da pesquisa foram disponibilizadas no início do questionário, para que o entrevistado estivesse esclarecido e se sentisse motivado e/ou interessado a participar da pesquisa. Outro elemento trabalhado foi a minimização do custo de resposta: assim os questionários foram enviados por e-mail, podendo ser respondidos de forma on-line com envio de resposta automática através do JotForm (INTERLOGY, 2011). No início do questionário também foi informado que durante o preenchimento do mesmo seriam transmitidas algumas informações sobre a tecnologia fotovoltaica e também direcionamento a sites aonde podem ser encontradas maiores informações sobre a tecnologia. Deste modo o próprio questionário já atuou como um instrumento de divulgação da tecnologia fotovoltaica fornecendo conhecimento básico àqueles que responderam a pesquisa.

O público alvo dos questionários foram arquitetos formados, divididos entre profissionais autônomos, estudantes de pós-graduação, professores de arquitetura, e estudantes de arquitetura. Para seleção dos grupos de pesquisa foram utilizados os grupos propostos por Pedrini (2003) na sua pesquisa sobre a integração das estratégias de eficiência energética no processo de projeto de arquitetura. Esta pesquisa tinha o objetivo de conhecer como os arquitetos se relacionavam com estratégias de projeto não convencionais, tema similar à utilização da tecnologia fotovoltaica. Pedrini (2003) pesquisou nas diversas atuações dos arquitetos: estudantes de pós-graduação, professores, arquitetos autônomos e arquitetos titulares.

Os questionários foram elaborados em meio digital (JOTFORM) e enviados por e-mail aos entrevistados selecionados a partir daqueles profissionais que divulgavam seu contato (e-mail) em

sites da profissão ([www.arquitetura.com.br](http://www.arquitetura.com.br); [www.revestir.com.br](http://www.revestir.com.br); [www.construtek.com.br](http://www.construtek.com.br), [www.portaldoarquiteto.com.br](http://www.portaldoarquiteto.com.br), [www.exeplan.com.br](http://www.exeplan.com.br)). A pesquisa também foi feita no site nacional do IAB (Instituto dos Arquitetos do Brasil) que não possui divulgação do cadastro, e também dos IABs estaduais. Dentre os IABs estaduais, vários contavam com a seção de busca por profissionais, mas estavam ainda com a página em manutenção. Apenas o IAB-RJ possuía o cadastro com a apresentação dos profissionais. A seleção dos profissionais priorizou aqueles localizados nas capitais dos estados, já que, por trabalharem em cidades maiores, têm maior possibilidade de contar com novas tecnologias. Em alguns estados não foi encontrado arquiteto em nenhum dos sites. Assim foi feita uma procura no Google por arquiteto mais o nome do estado, selecionando um mínimo de 10 profissionais por estado. Também foram selecionados e-mails de professores de arquitetura, pela sua experiência com análise de projetos. Foram selecionados e-mails dos professores de arquitetura da UFSC (local do grupo de pesquisa em energia solar fotovoltaica) e também da USP, pela localização destes na maior capital brasileira e pela expressividade do grupo de pesquisa em sistemas fotovoltaicos atuando naquela universidade.

Segundo o Confea, em janeiro de 2011 existiam 99.180 arquitetos no país; assim pretendeu-se neste trabalho atingir cerca de 1% deles (1000 envios de formulários), esperando obter cerca de 15% de respostas. Cartana (2006) trabalhou com pesquisa similar, recebendo de 15 a 48% de respostas, sendo o percentual de 15% obtido com o mesmo público alvo desta pesquisa, os arquitetos autônomos.

A decisão do envio dos questionários por e-mail foi feita pela necessidade de taxas de respostas satisfatórias (em comparação a envios pelo correio), praticidade e minimização de custos. Estudos nesta área mostram que algumas estratégias podem ser adotadas para aumentar os índices de respostas aos questionários on-line. Os níveis de resposta a formulários on-line costumam ser menores do que aqueles em papel, isto porque os respondentes podem considerar os e-mails como lixo eletrônico (*spam*) ou lixo. Para minimizar estes problemas Kaplowitz *et al.* (2004) apontam que e-mails enviados antes da pesquisa em si, e também contatos após a pesquisa, lembrando a mesma, podem aumentar as taxas de respostas, chegando a 30%. Millar e Dillman (2011) aprofundam a pesquisa, já utilizando contatos antes e depois do envio do questionário, e pesquisam as taxas de resposta para formulários que utilizam dois meios para aplicação da pesquisa: correio em papel e e-mail, e também incentivos financeiros. Esta pesquisa aplicada a estudantes universitários atingiu os maiores níveis de resposta (46,5%)

em questionários aplicados com primeiro contato em papel, dando a opção ao entrevistado de escolher seu modo de resposta, se em papel ou e-mail, e posteriormente lembrando-o por e-mail da sua participação na pesquisa. O referido estudo concluiu que a utilização de dois meios em conjunto na mesma pesquisa (correio em papel e e-mail) produz a maior diferença estatística nas taxas de resposta, assim como a bonificação financeira pela participação. A possibilidade do respondente optar pelo meio que dará a resposta aumenta a confiança e a seriedade da pesquisa, demonstrando que o pesquisador está atento às preferências do entrevistado.

De acordo com estes estudos, (KAPLOWITZ *et al.*, 2004; MILLAR e DILLMAN, 2011) o ideal seria um questionário aplicado em três etapas, com contato inicial (em papel e e-mail oferecendo a opção), envio da pesquisa e contato para lembrar a sua participação, além da recompensa financeira ou material.

Visando atingir índices de resposta próximos destas pesquisas, e considerando as características dos usuários e a viabilidade da presente pesquisa, foram adotadas as seguintes estratégias: utilizar os três contatos com os entrevistados; o modo de contato somente por e-mail, mas fornecendo a opção de resposta, pelo correio, para aqueles que assim o desejassem, e; também a bonificação pela participação através do envio de um livro sobre o tema (energia fotovoltaica). Não foi adotado o contato essencialmente pelo correio por acreditar que a população estudada, arquitetos com divulgação de seu contato profissional em sites, estão familiarizados com a internet. Mesmo assim, nos três contatos foi enfatizado que se o respondente preferisse contato pelo correio, ele poderia responder ao pesquisador indicando seu endereço, para que fosse então enviado o questionário.

Os três momentos de pesquisa foram um contato inicial, o envio do questionário e um contato posterior para enfatizar a pesquisa. No primeiro contato foi apresentada a pesquisa e avisado que após uma semana seria enviado o link com o questionário a ser respondido. No segundo contato foi novamente apresentada a pesquisa e enviado o link do questionário. Um mês após o segundo contato (cerca de cinco semanas após o segundo contato) foi enviado um novo e-mail de reforço para solicitar as respostas aos entrevistados. Como benefício e incentivo às respostas, o questionário ofereceu um exemplar do livro Edifícios Solares Fotovoltaicos (RÜTHER, 2004), de autoria do coordenador do grupo de pesquisa do qual este trabalho é integrante.

Anteriormente à aplicação da pesquisa, o questionário também foi submetido à aprovação do CEPESH (Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos) da UFSC. Nesta submissão foi esclarecido que

esta pesquisa não apresenta risco de saúde ou integridade física aos usuários, já que trata apenas de questões sobre a opinião ou o conhecimento dos profissionais, além de ser anônimo. O parecer do CEPESH foi favorável à aplicação da pesquisa, conforme o protocolo 2307/11.

O processo de aplicação do questionário teve duração de cerca de dois meses após a aprovação pelo Comitê de Ética. Neste período ocorreu o contato com os entrevistados, o envio dos questionários online, o reforço à participação e mais quatro semanas de aguardo das respostas. Após este período o link de acesso ao questionário foi cancelado.

As perguntas do questionário buscaram identificar quais as questões que levam à pouca/não utilização da tecnologia FV pelos arquitetos e como incentivar a mudança deste cenário. Como a falta de informação sobre a tecnologia é uma barreira à disseminação da mesma (IEA, 2010), buscou-se identificar quais as maiores dúvidas dos arquitetos. Ao identificar quais as informações mais relevantes, estas guiaram o desenvolvimento da ferramenta computacional que busca suprir os arquitetos com estas novas informações.

A pesquisa foi estruturada do assunto geral para o específico, para que o entrevistado entre gradualmente em contato com as características da tecnologia. A pesquisa foi feita na forma de entrevista estruturada (com perguntas diretas sobre o tema de interesse), um dos meios mais trabalhosos, porém mais rico na obtenção de dados (LÜDKE, 1986). O questionário foi principalmente montado com perguntas fechadas, aonde o entrevistado escolhe uma das alternativas propostas (FREIXO, 2009), mas também possibilitou um espaço para observações, que poderiam ser preenchidas pelo usuário. A escolha por perguntas fechadas costuma possibilitar que o próprio entrevistado julgue e direcione suas respostas, ao contrário das pesquisas abertas onde o entrevistador classifica posteriormente as informações recebidas (Somer e Somer, apud Günther, 2003).

Na elaboração do questionário também foram observadas algumas considerações sobre o uso do questionário na pesquisa científica para evitar cometer erros comuns em entrevistas que resultam em respostas diferentes por fatores externos aos pesquisados (CHAGAS, 2000). As questões também foram elaboradas buscando um fácil entendimento pelo entrevistado, esclarecendo todos os componentes da pesquisa, além da realização de um pré-teste.

O questionário foi composto de três partes principais: conhecimento existente sobre o tema; dúvidas e necessidades de novos conhecimentos; e preferências de integração arquitetônica.

Na primeira parte da pesquisa buscou-se identificar o conhecimento prévio que o profissional já possuía sobre a tecnologia fotovoltaica. Após esta pergunta foi acrescida uma breve definição da tecnologia FV, explicando o funcionamento e as possibilidades da mesma. Esta definição foi incluída no questionário para fornecer as informações básicas aos entrevistados para que, mesmo sem nenhum conhecimento prévio sobre a tecnologia, eles pudessem responder o restante das perguntas. Esta parte também foi elaborada em respeito ao entrevistado, não lhe exigindo um conhecimento específico, o que poderia causar uma impressão negativa e diminuir as taxas de resposta.

A segunda parte do questionário foi composta de uma questão indagando sobre quais os conhecimentos necessários para que a tecnologia FV fosse mais utilizada pelos arquitetos. A questão apresentou opções para ser respondida em ordem de relevância em 5 níveis. Estas respostas serviram para definir e priorizar as informações que posteriormente foram contempladas pela ferramenta computacional. Também foi incluída uma pergunta sobre a etapa do projeto de arquitetura em que as informações sobre a tecnologia fotovoltaica seriam necessárias. As etapas de projeto foram listadas segundo a NBR de Elaboração de projetos de edificações (ABNT, 1995). Esta seleção também orientou a elaboração da ferramenta, indicando se a ferramenta teria um uso nas etapas iniciais possibilitando várias escolhas, ou se a ferramenta deveria fornecer opções a partir de definições já feitas no projeto.

A terceira parte do questionário tratou das preferências de composição na integração fotovoltaica. Para isto foi elaborada uma questão com imagens de integrações, questionando as características que contribuíram à composição arquitetônica. Assim buscou-se identificar como os arquitetos consideram as relações entre os módulos fotovoltaicos e a edificação, de acordo com a sua localização e relação entre os materiais. Os BIPVs selecionados para a questão foram oriundos da escolha de imagens dos exemplos encontrados na etapa de “Integração Arquitetônica” (item 2.2.). Os exemplares buscaram contemplar os vários locais de integração (THOMAS, 1999) e também as características de integração já citadas em pesquisas com arquitetos (SCHOEN *et al.*, 2001; MUNARI PROBST e ROECKER, 2007). Assim, as sete imagens selecionadas do banco de dados da IEA (2011) possuem exemplos diversos de integrações: na cobertura, nas fachadas, elementos curvos, brises e proteções solares; também apresentam características de integração natural, integração não visível, integração na modulação, e integração salientando a característica ‘futurista’ da tecnologia. Além de uma imagem da integração, também foi anexado

um modelo em perspectiva da integração, indicando a localização dos módulos. Este modelo em perspectiva com a volumetria da edificação foi elaborado a partir de várias imagens e informações obtidas nos sites dos arquitetos projetistas de cada exemplar. Esta análise das integrações foi feita com o objetivo de selecionar as características das integrações mais valorizadas pelos arquitetos para então serem apresentadas como exemplos pela ferramenta computacional.

A terceira parte da entrevista também foi similar à pesquisa de Munari Probst e Roecker (2007), que utilizaram imagens para indagar sobre a qualidade estética da integração dos coletores solares para aquecimento de água. A pesquisa foi feita de forma qualitativa, onde os entrevistados deveriam dar notas (de ruim a ótima) para as integrações. Nesta pesquisa Munari Probst e Roecker (2007) perceberam que houve uma diferença entre as respostas de engenheiros e arquitetos. Os engenheiros tiveram respostas opostas para o mesmo caso de integração; já as respostas dos arquitetos foram mais uniformes. Como já citado a pesquisa neste trabalho ocorreu somente com arquitetos.

Antes de enviar os questionários digitais foi feito o pré-teste com cinco arquitetos de Santa Maria-RS e Florianópolis-SC para identificar a clareza do questionário. Após estas entrevistas o questionário foi alterado conforme as sugestões e dificuldades encontradas para se tornar mais acessível para ser respondido por meio digital. O questionário que foi enviado aos grupos de pesquisa é apresentado no Apêndice A.

A partir das respostas encontradas nos questionários, foi elaborada a ferramenta computacional buscando suprir as necessidades e os questionamentos indicados pelos arquitetos.

Após a elaboração e análise dos questionários, houve contato e consulta de outro profissional com o grupo de pesquisa a que este trabalho está relacionado (o grupo Fotovoltaica – UFSC) apresentando um questionário similar ao aqui realizado. Este profissional estava desenvolvendo sua tese de doutorado na Cardiff University – Reino Unido, e estava abordando o tema de Fachadas Ventiladas (ou TSC, *Transpired Solar Thermal*). A estrutura do questionário apresentado foi muito similar: apresentação inicial (com indicação do anonimato do participante e parecer do comitê de ética); caracterização profissional do entrevistado; explanação sobre a tecnologia; um questionamento sobre o responsável pelo uso da tecnologia; uma análise qualitativa (análise do projeto e da composição) de sete integrações reais; análise sobre quais possibilidade de integração arquitetônica pode ser de interesse; e por fim um questionamento de como seria possível a maior divulgação e utilização da tecnologia. O formulário pode ser visualizado no Anexo 1.

### 3.3. FORMULAÇÃO DA FERRAMENTA

Nesta etapa foram utilizadas as análises das ferramentas de apoio às decisões de projeto aliadas às necessidades salientadas nos questionários, buscando compor uma ferramenta que seja útil no auxílio ao arquiteto que se propõe a utilizar a tecnologia fotovoltaica.

Depois de identificadas na revisão bibliográfica as partes que compõem uma ferramenta de apoio à decisão e como elas vêm atuando na arquitetura, foi esboçada a ferramenta de apoio às decisões de projeto de integração fotovoltaica à arquitetura. Nesta etapa foram caracterizados os dados de entrada necessários que o profissional deve fornecer à ferramenta para que esta possa apresentar opções para a integração fotovoltaica. Também foi definido como a ferramenta organiza estes dados de entrada e o banco de dados para fornecer os resultados que auxiliem os arquitetos.

A ferramenta funciona na forma de uma rede arborescente, com estados fixos que podem sofrer ações diversas. O estado inicial é uma edificação com integração de módulos fotovoltaicos em seu envelope que é alterada pelas ações conforme a localização dos módulos, características construtivas e características técnicas de desempenho dos módulos.

Como dados de saída a ferramenta fornece alternativas de exemplares de BIPV que têm os mesmos condicionantes que o usuário informou ao software. A rede da ferramenta tem funcionamento similar ao software Sunny Design que permite a tomada de decisão em vários níveis, tendo sempre um panorama geral da proposta e permitindo alterações em qualquer nível e a qualquer momento.

As decisões que os arquitetos são incitados a tomar referem-se a:

- face de instalação dos módulos: cobertura, fachada ou elemento de proteção;
- decisão do local de instalação na face: telhado inclinado ou curvo, etc.;
- tamanho do módulo em comprimento e largura: podendo o usuário optar por um tamanho pertinente à modulação trabalhada na edificação ou por um tamanho similar a outros elementos de vedação da edificação;
- substrato do módulo: rígido ou flexível, transparente ou opaco, orientado ao usuário conforme as predefinições do local de instalação;
- cor do módulo: onde o usuário optar por uma coloração pertinente ao conjunto de cores dos outros elementos da edificação.



A seleção das características ocorre conforme a Tabela 7 (similar à Tabela 6), levando a indicação pela ferramenta de exemplares de BIPV que já existem e possuem as mesmas características ou conceitos que as necessidades e desejos do arquiteto. Em todas as características a primeira opção (padrão de resposta) é ‘todas as possibilidades’, considerando que quando o projetista não fizer uma opção é porque ele deseja visualizar todas as opções possíveis.

Tabela 7 – Caracterização dos exemplares de BIPV

Características	Opção
Uso da edificação	Residencial
	Comercial
	Industrial
	Serviços
	Institucional
Tipo da integração	Nova edificação (BIPV)
	Nova estrutura
	Integração em retrofit
	Integração aplicada à edificação
Característica arquitetônica	Edificação histórica
	Arquitetos expoentes
	Edifícios convencionais
Visualização da integração	Integração invisível ou não perceptível nas fachadas
	Integração em parte de um plano visível
	Integração em toda uma face visível
Local da integração:	Cobertura
	Fachada
	Cobertura / Fachada
	Brises e outros elementos
	Mais de uma face
Face de integração	Plana
	Curva
Vedação	Opaca
	Translúcida / Transparente
Substrato do módulo	Rígido
	Flexível
Moldura	Com moldura
	Sem moldura
Tecnologia	Cristalino
	Filmes finos
	HIT
	Mais de uma tecnologia
	Outros
Relação com outros materiais	Concreto aparente
	Vidro / Policarbonatos
	Madeira
	Metal
	Cerâmica
	Pedra

A ferramenta também apresenta, como resultado, módulos fotovoltaicos conforme as características de integração definidas, e conta com um banco de dados de módulos fotovoltaicos existentes. Estes módulos também são classificados segundo suas características técnicas e possibilidades arquitetônicas. A seleção dos módulos para inserção no software foi feita a partir dos módulos já cadastrados pelo INMETRO (2012). Os dados dos módulos foram obtidos a partir do site dos fabricantes, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação dos módulos fotovoltaicos

Modelo do módulo	(preencher)	
Fabricante	(preencher)	
Foto	(anexar imagem)	
Tecnologia	Opção:	c-Si (mono e multi cristalino)
		a-Si
		μc-Si
		CdTe
		Outro
Potência nominal	(preencher) Wp	
Comprimento	(preencher) mm	
Largura	(preencher) mm	
Peso	(preencher) kg	
Visualização do Substrato	Opção:	Opaco
		Translúcido
		Transparente
Rigidez do substrato	Opção:	Rígido
		Flexível
Moldura	Opção:	Com moldura
		Sem moldura
Cor/tonalidade	Opção:	Azul
		Roxo
		Marrom
		Vermelho
		Verde
		Amarelo
Brilho	Opção:	Outro (preencher)
		Superfície brilhosa
		Superfície opaca
Eficiência	(preencher) %	

Durante a elaboração do questionário também surgiram outros questionamentos dos arquitetos, que indicaram conhecimentos que

deveriam ser abrangidos pela ferramenta. Entre estes elementos esteve a necessidade de uma metodologia simplificada para definições de forma e função (como equilibrar a necessidade de uma determinada posição de instalação para receber maior irradiação com a forma da composição arquitetônica). Outro elemento bastante comentado foi o custo dos sistemas, sendo para isto previsto um espaço de cálculo do custo de aquisição e economia financeira pela geração de energia.

As informações das edificações (BIPVs) e dos módulos foram inseridos na ferramenta na forma de um banco de dados. Além do banco de dados a ferramenta também possui uma parte de interface com o usuário, que é onde o projetista irá selecionar as opções/decisões que pretende para seu projeto, e conforme as opções preenchidas pelo projetista, a ferramenta apresenta os exemplos de BIPVs e os módulos fotovoltaicos mais adequados.

O banco de dados da ferramenta é composto pelos diversos tipos de módulos existentes na atualidade e BIPVs com integração em diferentes locais na edificação. Cada opção tem relacionado o tipo de módulo com seu tamanho, forma, cor e substrato. Assim, quando o usuário preenche os dados de entrada da ferramenta com as características que deseja, o software apresenta as opções existentes no repertório.

Da mesma forma, o usuário escolhe em qual local ocorre a integração fotovoltaica, selecionando a face ou faces que permita um ganho de irradiação satisfatório e aceitável para as premissas do projeto. Para auxiliar na decisão do usuário de onde instalar os módulos FV, a ferramenta apresenta para cada opção um pequeno texto informativo, salientando as características daquela localização, vantagens e necessidades que ocorrerão com a instalação naquele local.

Após a definição do modelo a ser utilizado para integração o usuário também pode calcular pelo software a quantidade de energia gerada a partir daquele tipo de instalação na área e localização que necessita. Para isto o usuário deve utilizar os ábacos que também foram desenvolvidos no escopo deste projeto e são apresentados na sequência.

### **3.3.1. Verificação das posições de instalação**

Nesta etapa foram desenvolvidos os ábacos que relacionam a orientação e inclinação da posição da instalação dos sistemas FV nos BIPV, suprimindo a necessidade indicada pelos questionários de fácil compreensão da posição ideal de instalação para cada cidade. Para isto foi utilizada a metodologia proposta por Santos (2009).

A posição de instalação dos sistemas FV é de fundamental importância já que implica diretamente no nível de irradiação e condiciona os níveis de geração de energia. Vários estudos teóricos demonstram que a melhor condição de instalação para um sistema FV é a orientação ao equador (Norte para o hemisfério Sul, e Sul para o hemisfério Norte) e inclinação próxima à latitude local (HUSSEIN *et al.*, 2004; BURGER e RÜTHER, 2006). Alguns novos trabalhos têm questionado que a limitação do ângulo de inclinação pode ser mais flexível (BERINGER *et al.*, 2011), sugerindo que em latitudes próximas a 50° poderiam ser instalados sistemas em inclinações de 0 a 70° com uma diferença de aproveitamento da irradiação de apenas 5%.

Cronemberger *et al.* (2012) e Zilles (2012) fizeram um estudo similar demonstrando as possibilidades de diferentes orientações e inclinações em instalações de sistemas fotovoltaicos para todas as capitais brasileiras. Ambos os trabalhos mostram os ábacos com forma circular apresentando as orientações nos raios e nos arcos concêntricos as inclinações.

A elaboração dos ábacos foi feita com a metodologia utilizada por Santos (2009). Foi utilizado como base o software Radiasol (UFRGS, 2001) que apresenta a variação de ganhos de irradiação (em variações de azimute e inclinação) conforme a posição geográfica do local. Para obter os ábacos trabalhados por Santos (2009) foi utilizado o Radiasol para gerar a média diária anual para cada latitude e longitude proposta. O Radiasol foi calibrado com os valores de irradiação horizontal em média anual, obtidos através do Projeto SWERA (SWERA, 2011). Foram selecionadas para cálculo as 26 capitais brasileiras e o distrito federal. Assim os usuários da ferramenta, podem escolher qual a capital onde estarão locando o projeto. Futuramente pretende-se expandir para dados de mais cidades. Para o cálculo da irradiação em cada inclinação, foi necessário identificar qual o modelo de irradiação difusa (Isotrópico, Perez, Klucher ou Hay e McKay) que fornece o valor de irradiação (média anual para uma inclinação igual à latitude) mais próximo ao fornecido pelo banco de dados do Projeto SWERA. A partir do modelo de irradiação definido, ele foi utilizado para gerar no Radiasol os valores de irradiação em cada azimute e inclinação. Como valor de albedo, refletância da irradiação ocasionada pela superfície terrestre, foi 0,2.

Após definir o modelo de irradiação difusa e obter os valores de irradiação média global horizontal do banco de dados do Projeto SWERA, foram calculados no Software Radiasol os ganhos de irradiação para cada capital, buscando o máximo de recebimento de irradiação, normalmente encontrada no azimute 0° N e inclinação igual à

latitude local. Mesmo sabendo desta característica, foi conferido no Radiasol o máximo valor de irradiação para cada localidade, verificando qual a inclinação (sob orientação Norte) que possibilita o maior ganho de irradiação.

O valor máximo indicado pelo Radiasol foi utilizado como percentual total (100%) de possibilidade de irradiação recebida por uma superfície naquela localização, tal como o modelo já utilizado por Santos (2009). A partir disto foram calculadas as irradiações para inclinações de 0° a 90°, variando a cada 10° de inclinação e também os azimutes a partir do Norte (0°) variando entre -180° e 180°, a cada 30° de variação. Cada valor obtido em quantidade de irradiação foi convertido em percentual do máximo de irradiação possível. A partir dos valores percentuais foram gerados os gráficos de manchas dos potenciais de geração para todas as capitais brasileiras, que foram disponibilizados no software. Para gerar os gráficos de mancha foi utilizado o software Surfer (GOLDEN, 1994).

Posteriormente à elaboração dos ábacos foi realizada uma validação dos mesmos através da comparação dos dados apresentados no ábaco com dados reais obtidos para Florianópolis-SC. Foram selecionados 4 sistemas, um na posição ideal para a cidade (azimute = Norte e inclinação = latitude) e outros três em posições diversas, obtendo os valores de irradiação recebidos por cada um. O sistema na posição ideal foi utilizado para validar a estimativa da máxima geração para a cidade, enquanto os outros três serviram para pegar pontos aleatórios dentro do ábaco e verificar a coerência entre os valores medidos e os valores estimados pelos ábacos. Os quatro sistemas foram comparados para verificar se a relação encontrada entre eles era a mesma indicada pelo ábaco. Para comparar a igualdade ou a diferença entre as médias de geração foram utilizados cálculos estatísticos de verificação da igualdade das variâncias e igualdade de múltiplas médias entre os valores de irradiação recebida pelos sistemas reais e os estimados pela ferramenta.

### 3.4. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

Após as definições e delimitações do funcionamento da ferramenta, ela foi elaborada através dos métodos da programação de softwares. A elaboração da ferramenta foi feita utilizando as premissas encontradas e ao final foi validada para verificar seu funcionamento ao ser utilizada por usuários reais.

A ferramenta foi elaborada na forma de um software de auxílio que vai do geral ao particular. Partindo do geral, integração fotovoltaica

à edificação, às definições de tipo de módulo e localização na edificação. O software foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação PHP (*Hipertext Preprocessor*), uma das linguagens mais utilizadas na web, além de ser gratuita e de código aberto (NIEDERAUER, 2011). O PHP é tecnologia de ponta para atender praticamente todas as demandas (MILANI, 2010). O banco de dados do software utiliza o formato MySQL, um servidor e gerenciador de banco de dados (SGBD) relacional de licença dupla (sendo uma delas de software livre), projetado inicialmente para trabalhar com aplicações de pequeno e médio porte, mas hoje atendendo a aplicações de grande porte e com mais possibilidades que seus concorrentes (MILANI, 2007).

Após a elaboração do software ele foi testado para verificar sua operação e se fornece as respostas corretas conforme as opções feitas pelos usuários.





## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da metodologia utilizada neste trabalho. Estes resultados abrangem o levantamento do estado da arte de edificações com integração arquitetônica (BIPV) no Brasil e no mundo; uma pesquisa com uma amostra dos arquitetos brasileiros e sua percepção sobre o uso da tecnologia fotovoltaica; o desenvolvimento e organização para suprir as necessidades levantadas no questionário com os arquitetos e; por último o desenvolvimento de um software para auxiliar os arquitetos em projetos de integração fotovoltaica à arquitetura.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO ARQUITETÔNICA DOS BIPV

Nesta etapa foram levantados vários BIPVs existentes no mundo e cada exemplar foi caracterizado segundo suas características arquitetônicas e de integração fotovoltaica, conforme proposto na Tabela 6. No total foram levantados 325 BIPVs, conforme apresentado no Apêndice B. Estes BIPVs foram analisados para identificar sua caracterização geral, verificando elementos comuns da composição arquitetônica presentes nestas integrações. Esta análise permitiu perceber quais os tipos de integrações mais comumente utilizados pelos arquitetos e projetistas. Salienta-se que estes dados são restritos aos bancos de dados analisados e provavelmente desconsideram muitas integrações existentes. Mesmo assim, estes dados demonstram um percentual significativo de integrações, principalmente daquelas realizadas por centros de pesquisa que buscam difundir suas pesquisas e resultados nos sites pesquisados.

Na Figura 10 apresenta-se a localização dos BIPVs analisados, mostrando a concentração de quase sua totalidade na Europa, seguida pela Ásia em menor número. No continente africano não foi observado nenhuma ocorrência de integração fotovoltaica à arquitetura. Quanto às atividades desempenhadas nas edificações em que os sistemas fotovoltaicos foram instalados, a maioria possui uso institucional, seguida por edificações residenciais (multifamiliares ou unifamiliares). Em menor expressão aparecem as edificações de serviço e por último as instalações industriais.

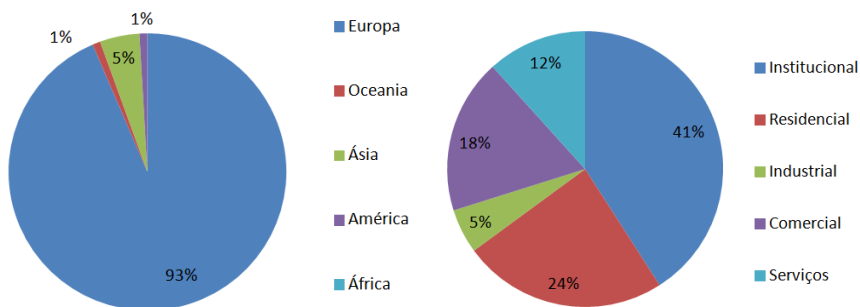


Figura 10 – Gráfico da localização dos exemplares de BIPV à esquerda, e à direita do tipo de utilização destas edificações (de um universo de 325 edificações).

Pouco mais da metade das integrações analisadas são realmente BIPVs, com integrações decorrentes de projetos pensados para a integração fotovoltaica (Figura 11). Cerca de 20% dos exemplares são na verdade BAPVs, ou seja, são edificações com simples aplicação dos módulos em fase posterior à sua construção. O restante (cerca de um quarto das edificações) teve a integração fotovoltaica realizada em fase de retrofit, ou seja, em um momento em que houve alteração na edificação, além da integração fotovoltaica. Na mesma figura também se observa como uma edificação poderia ser caracterizada em uma análise teórica, dividindo os BIPVs em edificações históricas (quando a integração ocorre em edificações tombadas por questões históricas), em edificações de arquitetos reconhecidos como expoentes (GLANCEY, 2006; MELVIN, 2008) e as demais como edificações convencionais, na qual a maioria dos exemplares foi identificada.

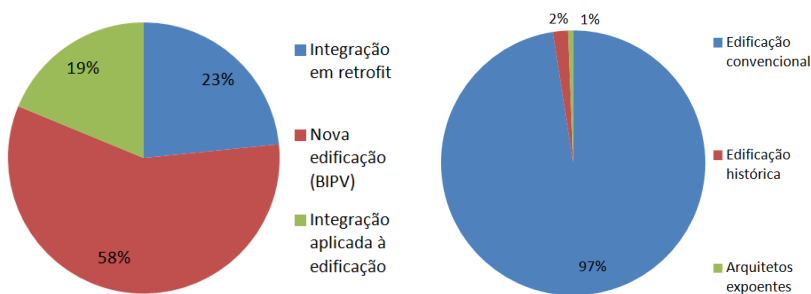


Figura 11 – Apresentação dos BIPVs, à esquerda em relação à fase construtiva de integração e à direita com a expressão arquitetônica teórica das edificações (de um universo de 325 edificações).

Na Figura 12 apresenta-se a visualização dos módulos na composição. A maioria dos módulos são integrados de forma a serem visualizados nas fachadas e ocupam apenas parte de uma face da edificação. Cerca de um terço dos módulos ocupam uma face visível, mas são posicionados de modo a cobrir toda uma face. Uma pequena parcela dos BIPVs tem integração de modo a não ser visualizado na edificação (ex. escondidos na cobertura por platibandas). Na mesma figura também é apresentada a face em que foram locados os módulos. A maior parte das edificações possui os módulos integrados em sua cobertura, possivelmente por ser o local com maior recebimento de radiação solar. As integrações nas fachadas representam cerca de 20% das edificações e ainda 9% das edificações possuem os módulos integrados em brises ou outros elementos de proteção solar. Em parcela menor há também a localização em elementos que atuam como fachada e cobertura e ainda as edificações que fazem a integração em mais de um elemento, como por exemplo, edificações com integrações nos brises e na cobertura.

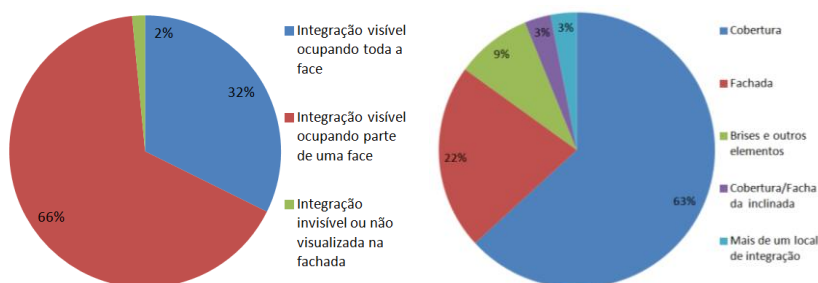


Figura 12 – À esquerda a visualização dos módulos em relação à face em que estão inseridos, à direita o elemento construtivo onde foram inseridos os módulos fotovoltaicos (de um universo de 325 edificações).

As edificações também foram analisadas conforme algumas características físicas dos módulos fotovoltaicos. Na Figura 13 observa-se que a maioria dos módulos são utilizados em faces planas das edificações. As poucas edificações que utilizam os módulos em faces curvas fazem uso de módulos flexíveis ou mesmo módulos rígidos com disposição em curva. Em relação à transparência, a maioria dos módulos são opacos, não permitindo a passagem da luz através dos mesmos. Cerca de 12% das edificações fazem uso dos módulos translúcidos ou semitransparentes, usando tanto os módulos com camadas de semicondutores muito finos que chegam a ser translúcidos, como os

módulos com células afastadas que permitem a passagem da luz pelo material transparente de seu substrato.

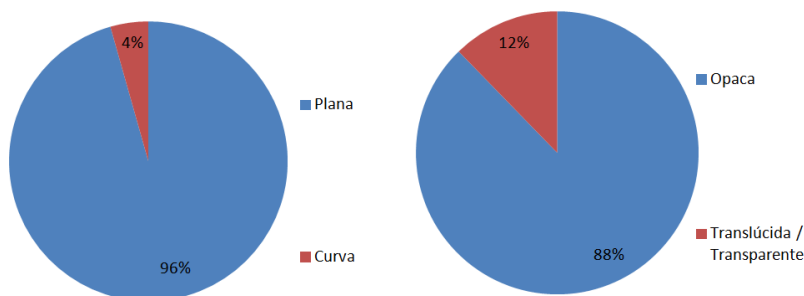


Figura 13- À esquerda a distribuição da rigidez dos módulos fotovoltaicos, e à direita a transparência dos mesmos (de um universo de 325 edificações).

Dentre as características físicas dos módulos ainda foi analisada a presença de moldura ou não. Conforme a Figura 14, quase a totalidade dos módulos utilizados possuem moldura. Outra característica apresentada na mesma figura é a tecnologia das células fotovoltaicas onde se percebe que a maior parte das edificações (61%) utiliza módulos de silício multicristalino. Em segundo lugar, com cerca de 30% está o uso do silício monocristalino e com 7% está o uso de módulos de silício amorfo/microcristalino. Os módulos da tecnologia HIT e de outras tecnologias somam menos de 5% das ocorrências nas edificações.

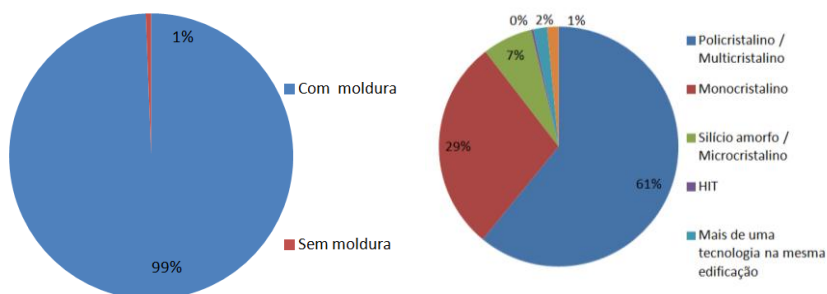


Figura 14 – À esquerda gráfico apresentando a característica dos módulos de possuírem moldura ou não. À direita as tecnologias de módulos fotovoltaicos utilizados nas integrações (de um universo de 325 edificações).

Em relação aos materiais presentes na edificação junto aos módulos fotovoltaicos, a maior ocorrência é de edificações com alvenaria e concreto (Figura 15). Também há presença expressiva da

utilização dos módulos junto a estruturas ou vedações de metal (16%) e vidro (11%). Com menor expressão, está a utilização dos módulos com madeira (5%) e cerâmica (4%) considerando telhas/tijolos/revestimentos). Percebe-se que há maior utilização da tecnologia com materiais com características mais contemporâneas (metal e vidro) do que com materiais com características mais conservadoras (madeira e cerâmica).

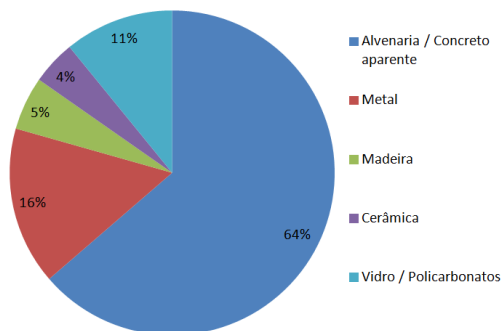


Figura 15 – Presença de materiais construtivos junto aos módulos fotovoltaicos (de um universo de 325 edificações).

Nesta análise, considerando somente as 325 edificações levantadas, foram percebidas algumas características gerais das edificações com integração fotovoltaica. No geral a maior parte destas edificações está localizada na Europa, com uso institucional, foram construídas prevendo a integração fotovoltaica, com projetos de arquitetura convencional, ocupam apenas parte da face onde estão instaladas, preferencialmente nas coberturas, em faces planas e opacas, com inserção de módulos com moldura de silício multicristalino em edificações de alvenaria ou concreto. No geral as edificações apresentaram características tradicionais ou comuns à arquitetura em geral. Ou seja, mesmo os módulos sendo uma tecnologia não convencional na sua utilização com a arquitetura, eles são comumente integrados em arquiteturas recorrentes. Percebe-se que as características específicas dos módulos não são aproveitadas para sua integração, como a utilização de módulos curvos, ou transparentes, nem mesmo sua utilização com materiais mais contemporâneos como o vidro e o metal. Assim, tem-se um cenário atual onde a maioria das composições ainda resulta na integração fotovoltaica como um elemento alheio à arquitetura tendo valor apenas tecnológico de geração de energia limpa. Mas alguns exemplares demonstram que é possível a utilização dos

módulos como elemento de composição da arquitetura, possibilitando, além de contribuir no caráter sustentável da edificação, agregar qualidade formal à tecnologia.

#### 4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS ARQUITETOS

Para identificar quais as informações os arquitetos possuem sobre a tecnologia fotovoltaica e quais informações eles desejam saber para utilizar a tecnologia, foi realizado um questionário com arquitetos de várias partes do país.

Os questionários foram aplicados de forma on-line, com três contatos com os entrevistados, conforme já apresentado no capítulo da metodologia. Foram enviados 1057 questionários, para profissionais classificados segundo a Tabela 9. Os arquitetos foram divididos em alguns grupos para facilitar o envio e também personalizar a comunicação. As divisões foram por: arquitetos de cada estado, professores de arquitetura e outro grupo considerado como ‘diversos’ contendo contatos prévios de interessados e um último grupo com contatos obtidos nos sites que não indicavam o estado de atuação. Os e-mails foram enviados pelo e-mail pessoal da pesquisadora, como uma forma de deixar claro o remetente do questionário, contribuindo para a seriedade e validade do estudo. Cada grupo de e-mail foi enviado com os destinatários como cópia oculta.

Tabela 9 – Distribuição dos questionários

Grupo de arquitetos	Quantidade de e-mails cadastrados
Diversos	90
Professores UFSC	45
Professores USP	138
Acre	5
Alagoas	2
Amapá	2
Amazonas	8
Bahia	25
Ceará	7
Distrito Federal	14
Espírito Santo	12
Goiás	9
Maranhão	6
Mato Grosso	7
Mato Grosso do Sul	8
Minas Gerais	36
Pará	20
Paraíba	7
Paraná	57
Pernambuco	18
Piauí	2
Rio de Janeiro	139
Rio Grande do Norte	6
Rio Grande do Sul	45
Rondônia	4
Roraima	0
Santa Catarina	46
São Paulo	287
Sergipe	8
Tocantins	4
TOTAL	1057

Dos 1057 questionários enviados, 138 (ou 13,05%) retornaram à caixa de entrada com aviso de endereço inválido, restando um total de 919 questionários enviados com sucesso. Também houve retornos de antispam de provedores de e-mail (UOL), solicitando a confirmação de envio. Em todos estes casos foram feitos os procedimentos de envio com reconhecimento de letras em figuras, resultando em contato válido.

Neste primeiro contato já apareceram alguns retornos dos entrevistados, agradecendo o contato e se disponibilizando a participar

da pesquisa. Esta ação por parte dos entrevistados demonstra que é válido fazer uma aproximação ao entrevistado antes da aplicação do questionário em si. Dos 919 enviados com sucesso, houve 57 retornos (6,2%) demonstrando o interesse em participar da pesquisa. Dentre estas não foram consideradas os contatos de e-mail automáticos de resposta. Do mesmo modo que ocorreram as respostas positivas, também houve respostas avessas à pesquisa; alguns e-mails foram recebidos com mensagens criticando a pesquisa e recusando-se a participar da mesma. Não houve nenhum e-mail de resposta solicitando o envio do questionário pelo correio.

O segundo contato, uma semana após o primeiro, foi feito com o envio do questionário em um link no corpo do e-mail. Este e-mail também contou com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) solicitado pelo CEPESH da UFSC. No corpo do e-mail o entrevistado era informado de que ao entrar no endereço eletrônico para responder o questionário ele concordava com o TCLE encontrado no corpo do texto. Neste contato também havia a reafirmação de que a participação na pesquisa seria bonificada com o envio de um livro sobre o assunto, como incentivo às respostas. Após este segundo contato, começaram a ser recebidas as respostas ao questionário.

Após o envio do questionário decorreram três semanas para o envio do último contato que relembrou a participação na pesquisa. Antes do terceiro contato, houve 88 respostas (9,61%). Após o envio do último contato, o questionário ficou aberto para receber respostas por mais duas semanas, com retorno de mais 54 respostas, demonstrando a validade de efetuar um reforço para participação em questionários. A pesquisa foi encerrada com 142 respostas, atingindo um percentual de resposta de 15,5% dos e-mails enviados.

O percentual de resposta atingido foi dentro do mínimo esperado, em torno de 15%. Este valor de 15% foi o menor apontado entre os pesquisadores (CARTANA, 2006), enquanto outros indicavam que poderia haver taxas de respostas até 30 ou 45% utilizando as ferramentas de três contatos e o fornecimento de um incentivo (KAPLOWITZ *et al.*, 2004; MILLAR e DILLMAN, 2011). Este menor índice pode ter sido devido a alguns fatores: aplicação da pesquisa entre dezembro e janeiro, período de férias para muitos profissionais; e envio por e-mail com vários destinatários ao mesmo tempo (entre 100 e 150 endereços), o que pode ter feito os provedores de e-mail considerar a mensagem como spam e assim o arquiteto pode não ter recebido a pesquisa de forma correta, u ainda a falta de interesse dos profissionais sobre este assunto.



Junto com o recebimento das respostas também foram recolhidos os endereços para envio do livro como bonificação pela participação na pesquisa. Alguns participantes não solicitaram o envio do livro (cerca de 5%), demonstrando o interesse em participar da pesquisa mesmo sem a retribuição, ou ainda porque já possuíam o livro. O envio do livro ocorreu em até um mês após o encerramento da pesquisa.

Após o encerramento dos questionários os dados foram reunidos e tabulados. As questões diretas (perguntas com opção de resposta fechada) foram agrupadas em percentuais. As questões abertas (com possibilidade de resposta em textos pessoais) foram agrupadas segundo assuntos similares.

A distribuição dos entrevistados respondentes é apresentada na Figura 16. Todos os respondentes são arquitetos e urbanistas e foram divididos em 4 grupos: os arquitetos autônomos, os arquitetos estudantes de pós-graduação, os arquitetos docentes (incluído aqueles que além de docentes são também estudantes de pós-graduação), e os estudantes de arquitetura. A maior parte dos entrevistados foi de arquitetos e urbanistas que atuam na prática profissional. O pouco número de estudantes de arquitetura foi ocasionado pelo questionário ser direcionado principalmente a profissionais já graduados.

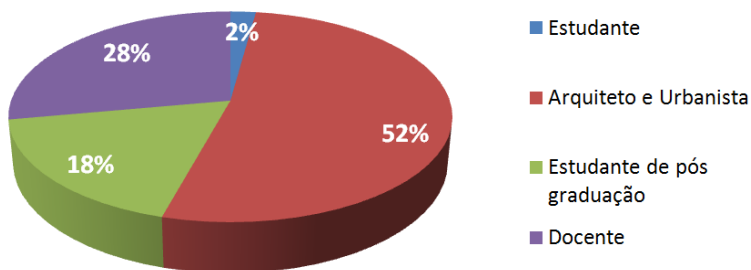


Figura 16 - Formação e atuação dos entrevistados (de uma amostra de 142 pessoas).

Para verificar a representatividade geográfica também foi levantado o local de atuação dos arquitetos. A maior parte dos respondentes foi das regiões Sul e Sudeste do país, conforme visto na Figura 17.

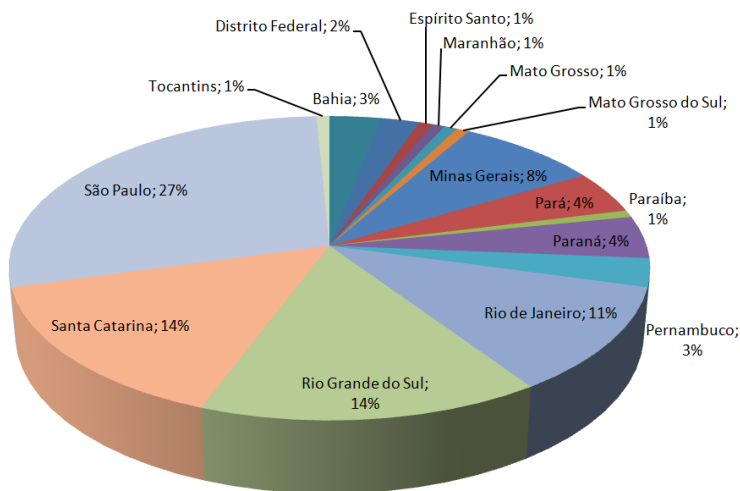


Figura 17 – Distribuição geográfica dos arquitetos participantes da pesquisa (de uma amostra de 142 pessoas).

Após a identificação dos grupos entrevistados foram analisadas as questões relacionadas à tecnologia. Quanto ao contato com a energia solar, os pesquisadores responderam optando por quatro níveis de conhecimento. Quase a metade dos respondentes tem conhecimento relativo sobre a tecnologia (conhece este tipo de geração alternativa, mas desconhece usos específicos para a arquitetura); mais de um quarto apresentou conhecimento próximo (cursos e aperfeiçoamentos sobre a utilização da mesma) e o outro quarto apresentou conhecimento distante (possui pouco conhecimento sobre as possibilidades da tecnologia) ou nenhum (nenhum contato com a tecnologia), conforme a Figura 18.

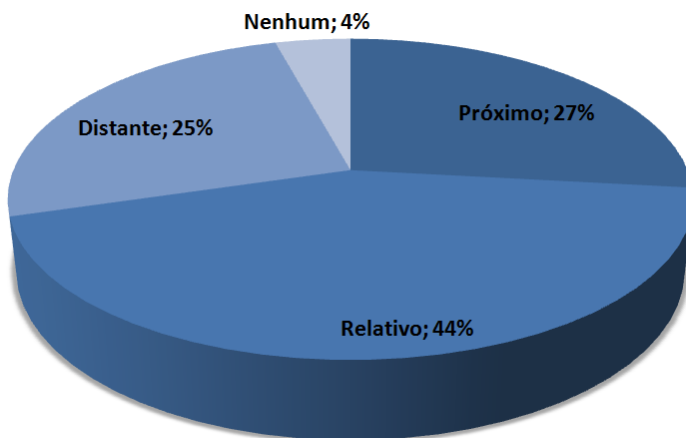


Figura 18 - Conhecimento sobre energia solar fotovoltaica (de uma amostra de 142 pessoas).

Quanto aos conhecimentos específicos sobre a tecnologia que os arquitetos julgam serem necessários para trabalhar com energia solar, os arquitetos pontuaram em valores de 1 a 5 (1 sendo o menos importante, até 5 o mais importante). Como a pontuação foi segundo a importância, havia a liberdade de classificar individualmente cada uma, não necessariamente fazendo uma escala do menos ao mais importante. Deste modo, 25% responderam classificando todas as informações como muito importantes (5). Conforme a Figura 19, os valores recebidos por cada item foram, no geral, considerados como importantes, atingindo notas próximas a 3 e 4 em um máximo de 5 (mais importante). O item com menor pontuação foi o de detalhes construtivos da instalação (atingiu nota 3,32), e o mais importante foi o sobre o funcionamento técnico da instalação (atingiu nota 4,18).

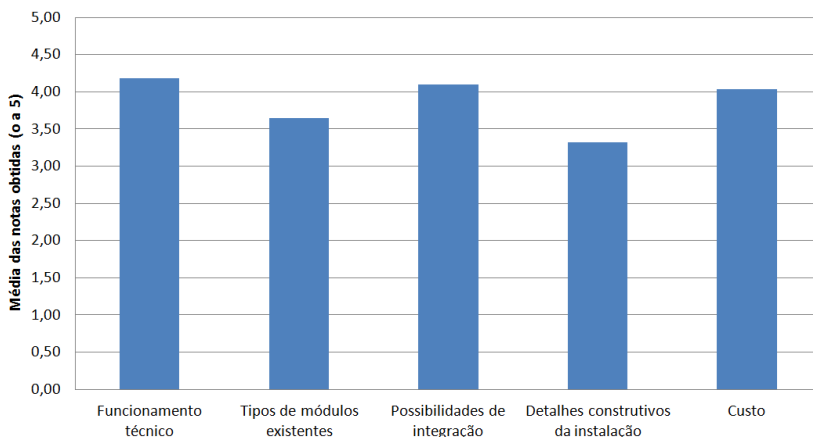


Figura 19 - Importância dos conhecimentos para utilização da tecnologia FV (de uma amostra de 142 pessoas).

Analisando cada item em separado, pode-se observar a distribuição das opiniões sobre cada conhecimento, Figura 20. O funcionamento técnico teve a maioria das respostas classificadas como mais importante. Os detalhes construtivos foram os que obtiveram menor pontuação, ou menor importância. O item de possibilidades de integração obteve as menores pontuações, indicando que poucos projetistas o consideram como item mais importante, ou que os arquitetos desconhecem o tema. Os custos apresentaram grande pontuação como item de maior importância, e também alguma pontuação como item de menor importância, demonstrando que há divergências entre os projetistas. Alguns o consideram essencial e outros o consideram de importância mediana. O item de detalhes construtivos apresentou pontuação similar entre as cinco classificações, mostrando que sua necessidade não é tão essencial. O item de tipos de módulos apresentou uma pontuação intermediária, com mais votos como elemento importante, e poucos votos como de menor importância.

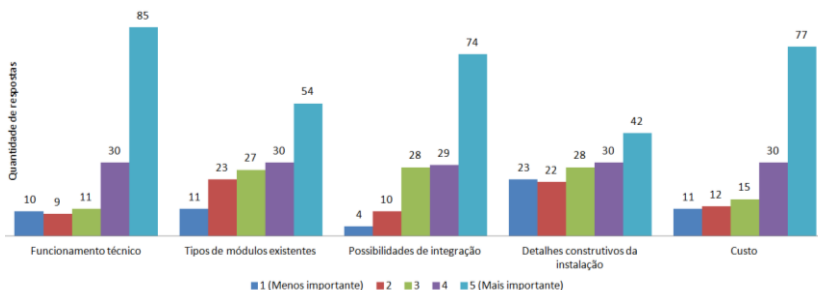


Figura 20 - Distribuição dos votos dos arquitetos (de uma amostra de 142 pessoas).

Como a pergunta também possuía um campo em aberto para acrescentar informações que o entrevistado considerasse essencial, houve várias sugestões de conhecimentos a serem esclarecidos para maior utilização da tecnologia:

- políticas públicas e legislações sobre o tema;
- divulgação de soluções exemplares;
- fornecedores no país;
- impacto ambiental e ciclo de vida da tecnologia;
- eficiência do sistema conforme a região do país e variações com inclinação e azimute;
- questões de mão de obra para instalação e manutenção;
- comparação com outras fontes energéticas;
- armazenamento de energia;
- riscos em ambientes salinos;
- utilização em edifícios públicos e residenciais de interesse social;
- retorno financeiro;
- possibilidades de integração à rede elétrica pública.

Estas sugestões demonstram o interesse dos arquitetos sobre as possibilidades da tecnologia fotovoltaica, e indicam que há necessidade de maior divulgação da tecnologia e de suas possibilidades para que seja efetivamente utilizada.

Quanto à etapa de projeto em que devem ser utilizados os conhecimentos sobre a tecnologia, a maioria dos arquitetos indicou o uso da ferramenta na etapa de Programa de Necessidades, conforme Figura 21, o que pode sugerir que a instalação também seria uma espécie de necessidade do projeto, tendo que ser trabalhada junto aos outros condicionantes de projeto. A etapa de anteprojeto foi a segunda mais citada, podendo indicar que mesmo após algumas definições de

projeto ainda pode ser analisada a instalação do sistema fotovoltaico, ou mesmo pode indicar o desconhecimento de como a integração poderia ser alcançada. A etapa de levantamento foi citada em menor escala, e a etapa de projeto executivo quase não foi citada, o que demonstrando que os arquitetos não consideram como ideal a integração da tecnologia na conclusão do projeto.

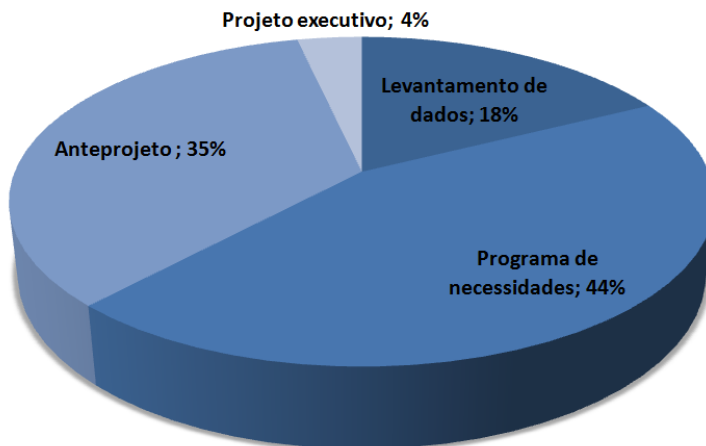


Figura 21 - Etapa do processo projetual a ser considerada a utilização da tecnologia fotovoltaica (de uma amostra de 142 pessoas).

Na prática, a indicação do uso do software na etapa de programa de necessidades poderia auxiliar a decisão de várias características da instalação para sua melhor utilização (tipo de módulo, inclinação, orientação). Já a utilização do software no anteprojeto auxiliaria a decisão de elementos mais específicos já que já existirão condicionantes prévios (orientação e inclinação podem já estar definidas, necessitando apenas definir o tipo de módulo e estimar a geração). Deste modo percebe-se que os arquitetos reconhecem a importância da tecnologia fotovoltaica e preocupam-se em utilizá-la como um requisito de projeto que atuará como condicionante desde as primeiras etapas. Esta percepção também pode demonstrar que os arquitetos estão dispostos a alterar suas composições para favorecer a integração fotovoltaica, desde que esta alteração seja feita de forma consciente, percebendo o quanto suas ações irão interferir no desempenho da tecnologia. A decisão pelo uso da tecnologia já na etapa de programa de necessidades reforça a viabilização da questão do compromisso entre ‘forma e função’ que atua nas integrações fotovoltaicas à arquitetura. A tecnologia ao ser

considerada nesta fase inicial atua como mais uma ‘função’ a ser desempenhada pela arquitetura e também possibilita que esteja presente em todas as etapas onde será desenvolvida a forma do projeto arquitetônico.

Quanto às características de composição arquitetônica das integrações, os arquitetos consideraram que as que mais contribuem para a integração de qualidade são: a qualidade do projeto; e a integração na fachada (maior quantidade de respostas); seguida pela integração na cobertura, tamanho seguindo a modulação e cor e forma similar aos outros materiais (Figura 22). A característica considerada como maior depreciadora da composição foi a utilização dos módulos somente em parte de um plano da edificação. A integração dos módulos de modo que não haja visualização dos mesmos (ou seja, não interfiram em nada na composição) teve um percentual de respostas similar à integração onde os módulos atuam como elemento diferencial, mostrando que não há uma uniformidade de preferências em ‘mostrar’ ou ‘esconder’ a instalação, podendo ser usadas ambas as características conforme o projeto.

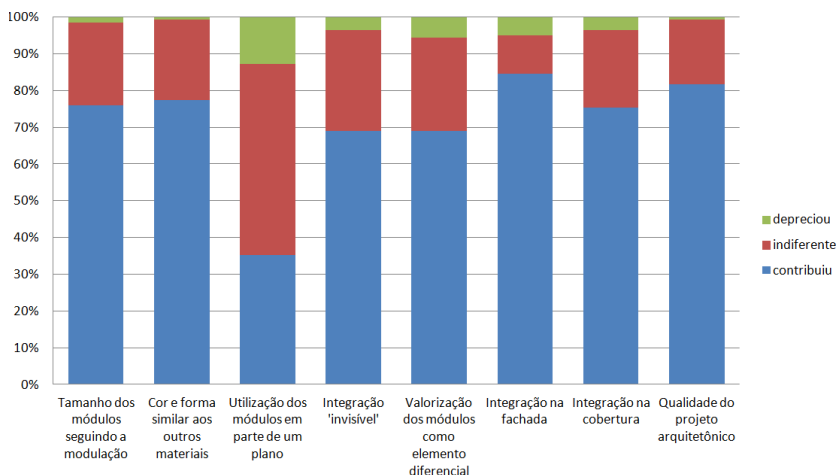


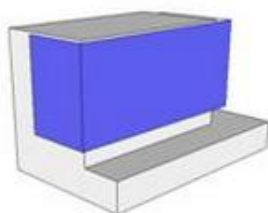
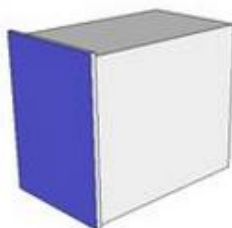
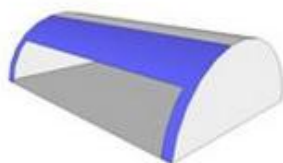
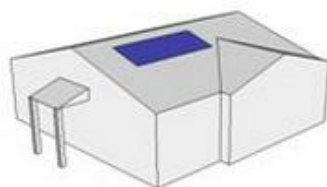
Figura 22 - Atuação das características das composições demonstrando aquelas características que mais valorizam uma integração fotovoltaica, as que mais depreciam, e também aquelas que são indiferentes, não alterando a composição (de uma amostra de 142 pessoas).

Quando analisadas as pontuações de cada característica (contribuiu = 1; indiferente = 0; e depreciou = -1), ficaram mais evidentes as características que devem ser priorizadas nas composições das

integrações e na busca por exemplares para compor o banco de dados. No geral, todas as características listadas possuem boa aceitação pelos arquitetos, com exceção da utilização dos módulos apenas em parte de um plano. Deste modo percebe-se que as possibilidades de integração de qualidade são muitas e dependem do projetista para que faça a união de forma coerente e utilize a tecnologia fotovoltaica para contribuir na qualidade do projeto arquitetônico (característica com maior pontuação).

Após a análise das características, os entrevistados tiveram que classificar sete edificações com integração fotovoltaica (Figura 23) em ordem de preferência, justificando suas escolhas. Mais informações sobre estas integrações são apresentadas no Apêndice D (estas informações fazem parte apenas da tese). Os arquitetos tiveram acesso somente às figuras apresentadas na Figura 23, já que foi buscada trabalhar com um questionário de menor tamanho para não cansar o respondente.





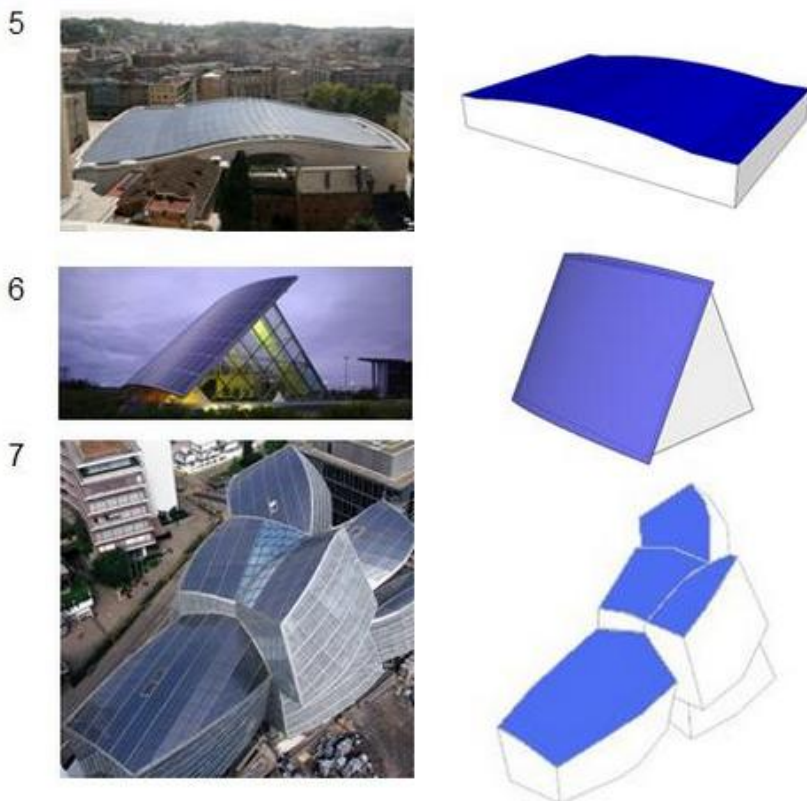


Figura 23 - Integrações analisadas pelos 142 arquitetos entrevistados mostrando uma fotografia da edificação e um desenho esquemático salientando o local da integração fotovoltaica.

Entre as composições apresentadas na Figura 23, a edificação classificada como melhor integração foi a de o número 6 (Figura 24), um edifício onde funciona uma espécie de showroom de uma empresa produtora de módulos solares fotovoltaicos. A segunda mais apreciada foi a edificação 7 de autoria do arquiteto Frank Gehry. Cerca de 30% dos entrevistados optaram por não determinar uma única integração como melhor opção, considerando que várias, ou todas, eram igualmente boas representantes da integração arquitetônica de módulos fotovoltaicos. Junto à escolha, os arquitetos também tiveram que justificar suas opções. A condição mais citada para justificar a escolha da melhor composição da integração fotovoltaica foi a utilização da tecnologia de modo que não haja identificação ou percepção dos módulos como elementos de geração de energia, mas sim como apenas

elementos construtivos. Outra justificativa recorrente foi a de que a edificação aparentava possuir melhor orientação solar, melhorando o desempenho dos módulos. Note-se que a opinião dos respondentes foi baseada somente na foto, já que não eram fornecidos dados de orientação e inclinação ou mesmo de localização da edificação. Também foi valorizada a utilização dos módulos em substituição a outros materiais.

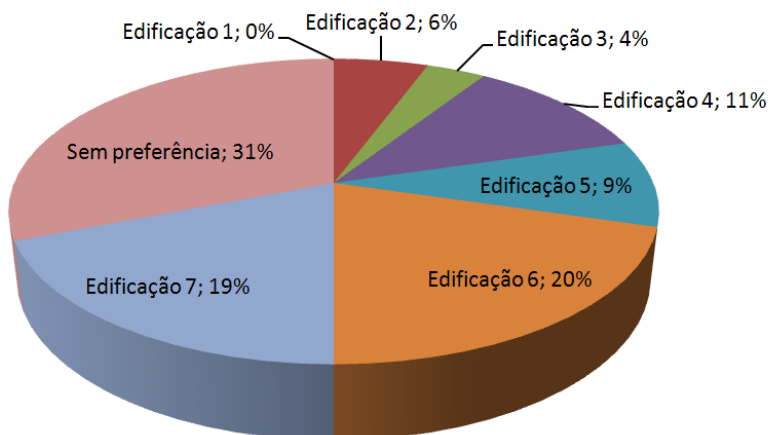


Figura 24 – Gráfico da frequência demonstrando qual integração obteve mais votos como ‘melhor’ integração (de uma amostra de 142 pessoas)..

Por estes dados, pode-se inferir que os arquitetos preferem integrações com alto compromisso técnico, locando os módulos em posição que resulte no máximo de geração energética, mesmo que os arquitetos não saibam realmente qual a posição ideal. Ao mesmo tempo os arquitetos também desejam que a integração tenha mínima interferência no projeto arquitetônico, de preferência não sendo perceptíveis na composição arquitetônica e principalmente não sendo soluções onde a integração é vista como um anexo à edificação. Assim percebe-se a necessidade de levar maior conhecimento aos arquitetos para que eles conheçam quais as posições possíveis de instalação para máxima geração e quais as perdas que ocorrem quando eles modificam as posições, evitando-se um preconceito de que só há uma posição possível para que haja geração satisfatória. A descrição da preferência pela não interferência ou não visualização no projeto sugere a necessidade de divulgação dos tipos de módulos existentes e suas características físicas e construtivas que podem ser utilizadas na

construção civil, além da divulgação de exemplos de casos de diferentes tipos de integrações BIPV.

Os comentários sobre as sete edificações do questionário também foram classificados em positivos, neutros ou negativos.

Em relação aos comentários feitos pelos arquitetos sobre cada edificação foi possível identificar a posição dos mesmos analisando os vários aspectos da composição. Os comentários aparecem reunidos na Figura 25, e demonstram que apesar de algumas edificações não terem sido citadas como a melhor integração, elas apresentam vários pontos positivos (edificação 2) ao mesmo tempo em que edificações citadas por vários arquitetos como melhor integração, recebem críticas de outros profissionais (6 e 7). Deste modo foi possível avaliar as edificações mais aceitáveis, e aquelas que ocasionaram divergências entre os arquitetos.

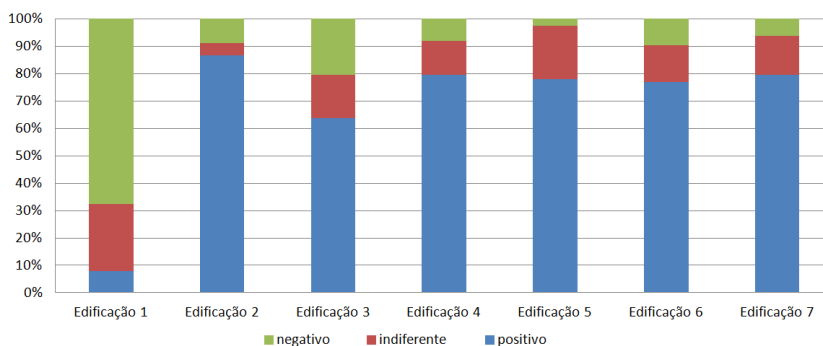


Figura 25 – Frequência dos comentários sobre as edificações classificando-os em comentários positivos, indiferentes ou negativos em relação à integração fotovoltaica na arquitetura (amostra de 142 arquitetos).

A edificação 1 foi classificada pela maioria dos arquitetos, como uma integração que depreciou a composição arquitetônica. Entre os comentários que justificaram a depreciação estavam: falta de unidade na forma e material dos módulos com o restante da edificação; aplicação somente em parte do plano de cobertura; elementos claramente alheios à composição e muito visíveis. Entre os que comentaram a neutralidade ou contribuição da composição estavam: composição aceitável já que é similar aos coletores solares já costumeiramente utilizados e instalação justificada pela melhor orientação solar.

A edificação 2 foi considerada pelos arquitetos como um projeto onde os módulos foram integrados de forma satisfatória, com comentários positivos sobre a integração fotovoltaica. Entre as características que contribuíram para uma integração satisfatória foi

citado: módulos não visíveis na composição, módulos usados trazendo o conceito da tecnologia, módulos usados com respeito à modulação da edificação, cor e forma similar aos outros materiais e adaptação à volumetria. Entre os comentários negativos esteve a questão de que os módulos foram usados em apenas parte da edificação e não em toda ela.

A edificação 3 foi citada como uma integração que contribuiu à composição: pela instalação similar às esquadrias ou a uma pele de vidro, por ser imperceptível e também por trazer um caráter de contemporaneidade ao projeto. As características que depreciaram a composição foram: poder causar ofuscamento, estar na angulação incorreta, bloquear a visual por ser uma fachada cega e também pelo ‘exagero’ da utilização dos módulos.

A edificação 4 recebeu muitos comentários positivos, principalmente pela utilização dos módulos com dupla função: gerar energia e atuar como brises. Outros comentários positivos foram: de que os módulos não são perceptíveis e aparentam não ter sido condicionantes de projeto, havendo uma ‘leveza’ na composição; houve um bom resultado de projeto com volumetria, ritmo e textura na fachada; e que os módulos trazem uma característica de projeto contemporâneo ou atual. Quanto às depreciações que a integração fotovoltaica pode causar à composição, foi novamente citado que: a posição de instalação dos módulos não parece ideal podendo ocasionar perdas de geração, além da instalação comprometer a visual do interior da edificação para o exterior. Também foi comentado que esta solução é muito limitada a determinados partidos arquitetônicos.

Na edificação 5 os comentários positivos foram de que os módulos acompanharam a volumetria curva; estão dispostos em boa posição para receber a irradiação solar; são invisíveis nas fachadas não alterando a composição; utilizam cor e textura na cobertura e; oferecem dupla barreira térmica na cobertura. Os comentários negativos citaram que a integração depreciou a composição arquitetônica, pois os módulos não deveriam estar ‘escondidos’; o projeto tem alto custo pela quantidade exagerada de módulos e; a locação dos mesmos não parece ter relação com o projeto da edificação.

A edificação 6 apresentou divergência entre os arquitetos. Os comentários positivos foram sobre a boa concepção do projeto; a valorização pela expressão tecnológica proporcionada pelos módulos; o bom aproveitamento da irradiação solar; a tradução de um estilo contemporâneo; a boa integração com o vidro e; a volumetria diferenciada. Os comentários negativos referiram-se à solução muito óbvia e com total submissão às necessidades dos módulos; um resultado

forçado; a utilização possível somente em latitudes específicas e a forma desequilibrada e totalmente submetida à função.

A edificação 7, salientada em questão anterior como edificação com maior aceitação pelos arquitetos, recebeu comentários diversos. Os comentários positivos se referem à utilização em vários planos e formas; a sensação de elemento único na composição; a fácil integração com vidro e aço; a adaptação à volumetria; os módulos sendo ‘invisíveis’ e não se impondo à volumetria; o bom aproveitamento da irradiação; e de que os módulos transmitem leveza, transparência e característica de tecnologia/modernidade. Entre os comentários negativos foram citados: o alto custo do projeto; o projeto arquitetônico que desconsidera o entorno; o excesso de formas; os módulos ‘escondidos’ e; os módulos com forma diferente da modulação da edificação.

Considerando as opiniões dos arquitetos como pontuações (comentários positivos = +1; comentários negativos = -1; e comentários indiferentes = 0), a nota atingida pelas edificações é vista na Figura 26, a escala apresenta a diferença entre notas positivas, ou seja, a melhor nota que uma edificação poderia atingir seria 142, só com respostas positivas. A edificação que apresentou maior pontuação foi a Edificação 2, seguida pela Edificação 5. Nos dois casos a localização dos módulos é discreta, quase imperceptível. A edificação com menor pontuação foi a 1, a casa com instalação aplicada sobre a edificação, sem relação com a composição, que obteve uma nota negativa porque a maioria dos comentários também foram negativos. A segunda edificação com menos votos foi a 3, com o uso dos módulos em toda uma fachada, diferente das demais.

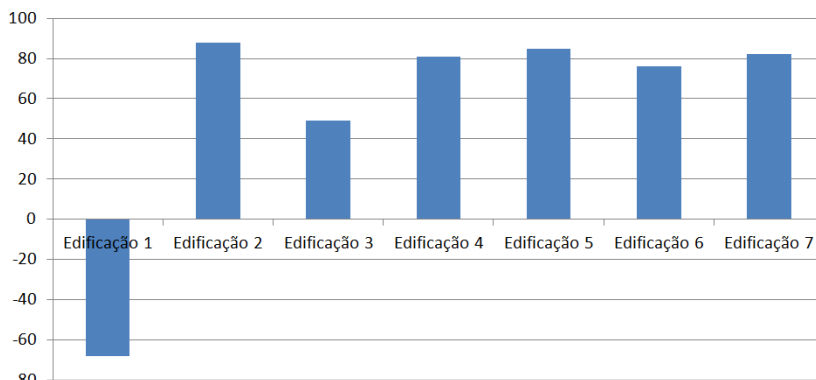


Figura 26 – Resumo dos comentários dos arquitetos (notas de cada edificação considerando o somatório das 142 respostas)

Após as perguntas, o questionário disponibilizou um espaço para comentários abertos dos respondentes. Neste espaço vários arquitetos comentaram sobre a importância da pesquisa para a divulgação da tecnologia fotovoltaica no país. Houve também alguns questionamentos e sugestões como: questionamento se todas as imagens eram de países frios e se há possibilidade de algo similar no Brasil; uso de painéis móveis seguindo o sol; dificuldade de analisar observando somente uma fotografia e detendo-se ao resultado formal; questionamento sobre a eficiência das células; informações sobre células orgânicas; interesse em maiores detalhes para poder utilizar em seus projetos; questionamento sobre o uso da tecnologia na região equatorial do Brasil; possibilidades de módulos translúcidos; utilização em edifícios históricos; indicação de que o tema que deveria ser tratado nas universidades em disciplinas teóricas e práticas; e, necessidade de apoio do governo federal para tornar os estudos uma realidade.

Após a análise geral dos questionários, também foi elaborada uma análise mais específica observando individualmente os grupos respondentes da pesquisa. Esta segunda análise buscou identificar se há um perfil, ou comportamento mais uniforme, em algum dos grupos pesquisados. A divisão dos grupos foi feita em relação à formação e atuação dos arquitetos, dividindo os pesquisados em dois grupos: arquitetos autônomos e arquitetos com pós-graduação e/ou professores. Esta divisão objetivou identificar se a formação e a atuação prática dos profissionais modificam suas considerações sobre a inserção da tecnologia.

Nesta análise os arquitetos com pós-graduação e professores apresentaram maior conhecimento e proximidade com a tecnologia fotovoltaica do que os arquitetos autônomos sem pós-graduação. Em relação a possuir um conhecimento próximo sobre a tecnologia, com cursos de formação, os profissionais com pós-graduação apresentaram um percentual cerca de 15% maior que os profissionais autônomos. Isto pode demonstrar que a tecnologia fotovoltaica ainda não está presente no cotidiano ou na formação básica dos arquitetos, mas que já está presente em outros cursos de aperfeiçoamento ou pesquisas do meio acadêmico, conforme mostrado na Figura 27. Segundo esta amostra percebe-se que a tecnologia necessita de maior divulgação e difusão no meio dos arquitetos, principalmente nos cursos de graduação, podendo assim atingir a todos os futuros profissionais.

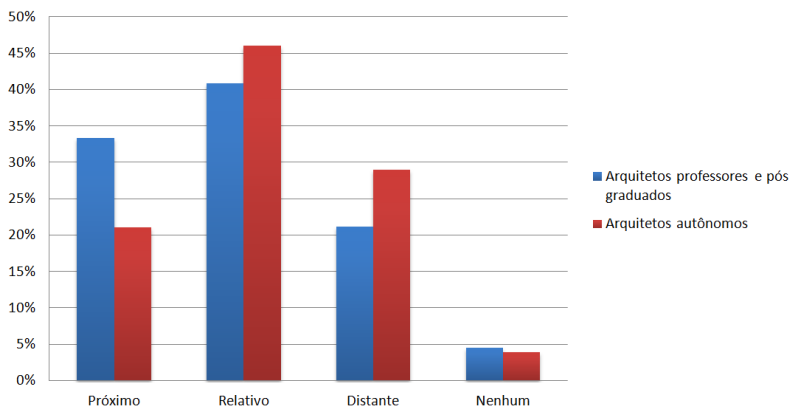


Figura 27 – Distribuição do nível de conhecimento dos arquitetos (autônomos ou com formação complementar) com a tecnologia fotovoltaica.

Quanto à importância das informações e características da instalação fotovoltaica, os arquitetos autônomos e pós-graduados apresentaram opiniões bastante similares. Conforme a Figura 28 os arquitetos pós-graduados parecem considerar os temas um pouco mais importantes. Em relação ao funcionamento técnico dos sistemas fotovoltaicos, às possibilidades de integração e detalhes construtivos, os arquitetos pós-graduados demonstraram mais interesse ou preocupação, dando notas um pouco maiores que os arquitetos autônomos a estes três quesitos. As notas para conhecimento sobre os tipos de módulos existentes e custo do sistema fotovoltaico foram semelhantes em ambos os grupos, demonstrando que independentemente do nível de formação ou atuação, os arquitetos dão a mesma importância para estes fatores.

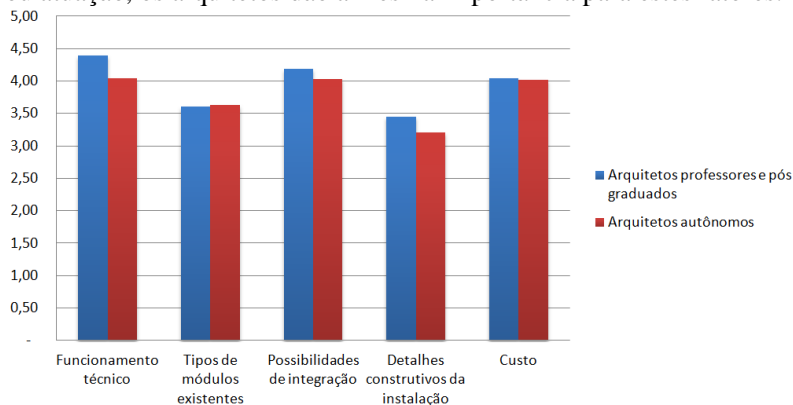


Figura 28 – Gráfico com as notas obtidas pelos diferentes aspectos sobre a tecnologia fotovoltaica (amostra de 142 arquitetos).



Quanto a serem utilizados os conhecimentos sobre a tecnologia fotovoltaica na etapa de projeto, os arquitetos autônomos e pós-graduados apresentaram opiniões diferentes, conforme visto na Figura 29. Ambos os grupos indicaram que a fase mais importante para serem utilizados estes conhecimentos é a fase de anteprojeto, mas dentro dos grupos os arquitetos autônomos indicaram que, em segundo lugar, a tecnologia pode ser inserida durante o levantamento de dados, enquanto os arquitetos pós-graduados indicam em segundo lugar que a tecnologia deveria ser utilizada no programa de necessidades. Os profissionais que estão vinculados ao meio acadêmico indicam que é no programa de necessidades que a maioria das decisões técnicas devem ser feitas. Quanto à inserção da tecnologia no projeto executivo, somente os profissionais autônomos indicaram que esta etapa também poderia ser utilizada, enquanto nenhum dos arquitetos pós-graduados citou esta opção. Esta característica pode indicar que os profissionais autônomos reconhecem que no projeto executivo ainda pode haver alterações significativas no projeto (talvez por seu maior contato com execuções reais que possuem alterações deste tipo), como a inserção de uma nova tecnologia, ou então por não saberem especificar a integração da tecnologia, acreditam que a mesma pode ser inserida na etapa final.

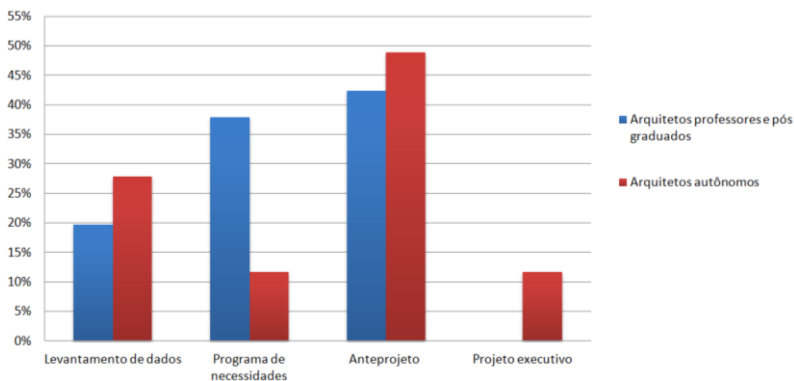


Figura 29 – Etapa de projeto na qual devem ser mais utilizados os conhecimentos sobre energia solar fotovoltaica (amostra de 142 arquitetos).

Em relação às características arquitetônicas da integração fotovoltaica e sua contribuição à edificação, os arquitetos pós-graduados e autônomos apresentaram opiniões similares. Os comentários foram quantificados por contribuir (+1), depreciar (-1) ou serem indiferentes à composição (0) e divididos pelo número de respondentes, resultando na Figura 30. Os resultados demonstraram que os arquitetos

autônomos são mais críticos, dando mais notas negativas (considerando que os módulos depreciam a composição arquitetônica); as notas positivas ou indiferentes foram bastante similares. As principais diferenças ocorreram no tamanho dos módulos, utilização dos módulos na cobertura, integrações na fachada e qualidade do projeto arquitetônico. Este panorama pode demonstrar que arquitetos com formações após a graduação se tornam mais tolerantes ou abertos às possibilidades de integração, enquanto os arquitetos que estão essencialmente atuantes no mercado possuem opiniões mais críticas. Ambos os profissionais valorizaram a utilização das integrações nas fachadas e criticaram muito a integração apenas em parte de um plano da edificação.

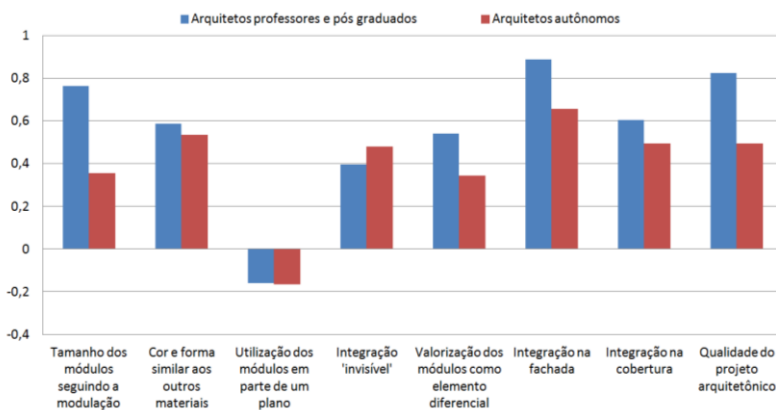


Figura 30 – Características da integração fotovoltaica na arquitetura e a sua contribuição à edificação (amostra de 142 arquitetos), apresentados em média pelo número de respondentes (66 professores e 76 profissionais autônomos).

Quando questionados sobre qual a edificação com a melhor integração, os dois grupos de arquitetos demonstraram algumas diferenças em suas preferências, conforme a Figura 31. Em similar os dois grupos apresentaram a aversão pela integração 1 (com simples apoio dos módulos) e também o grande percentual de arquitetos que optaram por mais de uma integração como a melhor (cerca de 30% em ambos os grupos). A edificação 6 também foi a mais citada nos dois grupos, embora tenha havido maior preferência entre os arquitetos autônomos. O mesmo aconteceu com a edificação 7, que foi a segunda opção mais citada e que também recebeu maior percentual de votos dos arquitetos autônomos. Como terceira opção os arquitetos citaram a edificação 4 (uso em brises) enquanto os arquitetos pós-graduados

consideraram a integração 2 (uso em superfície curva). Os arquitetos autônomos tiveram posições mais unânimes (maiores percentuais) que os arquitetos pós-graduados. Isso pode demonstrar que os arquitetos pós-graduados têm opiniões mais diversas, sendo menos restritivos e encontrando potencialidades nas diversas ocorrências das integrações.

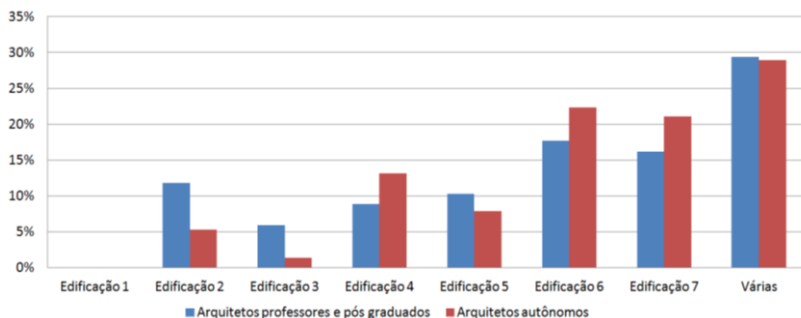


Figura 31 - Opção pela melhor integração fotovoltaica à arquitetura (amostra de 142 pessoas)

Com a análise por grupos percebeu-se a variedade de indagações que o tema produz nos arquitetos. Percebeu-se que não apareceram características nas edificações, ou mesmo no tema de energia fotovoltaica, que tenham se sobressaído significativamente em algum dos questionamentos. Isso demonstra as grandes possibilidades com que os arquitetos costumam trabalhar, sem refutar ou prender-se a determinados elementos. O estudo entre os dois grupos, arquitetos autônomos e arquitetos pós-graduados, demonstrou que estes profissionais apresentam opiniões similares, mas com uma sutil diferença. Os arquitetos voltados ao mercado apresentam opiniões mais uniformes e mais críticas, tolerando menos diversidades ou opções. Já os arquitetos que continuam em contato com a academia após a graduação, têm posições mais abertas, aceitando e valorizando várias possibilidades. Também poderia haver alguma relação das preferências conforme a idade dos arquitetos e a época em que cursaram arquitetura, mas estes fatores não foram levantados na pesquisa. Isto indica que o software deve apresentar funcionamento para ambos os grupos, devendo apresentar buscas e soluções a partir de critérios específicos, mas abrangendo um banco de dados com diversas possibilidades.

No geral os respondentes demonstraram, através dos seus comentários justificando as preferências, uma busca pela percepção geral das características das edificações e também do funcionamento da tecnologia. Isto remete aos estudos de Lawson (2004), que analisou o

método de criação dos arquitetos, observando que estes profissionais têm um comprometimento holístico em seus processos de criação e elaboração de soluções, se detendo ao máximo em variados detalhes dos desafios que lhes são propostos. Isto salienta que a ferramenta deve contemplar os mais diversos elementos possíveis que se relacionam com a tecnologia fotovoltaica (funcionamento técnico, possibilidades de integração, exemplos variados de integrações existentes, etc.), para que a ferramenta sirva como fonte de orientação/inspiração para o projetista, possibilitando que este tome suas decisões particulares podendo se apoiar em informações diversas. Nesta etapa de trabalho também foi considerado que a ferramenta poderá também ser utilizada como fonte de informação geral, ou análise final de um sistema fotovoltaico, onde o arquiteto poderá obter informações relevantes sobre a tecnologia, e também poderá conferir e ajustar os projetos já realizados.

#### 4.3. ELABORAÇÃO DO ESCOPO DA FERRAMENTA

Após a realização da pesquisa bibliográfica sobre a integração da tecnologia fotovoltaica com a arquitetura e a tabulação dos dados obtidos nos questionários, foi iniciada a elaboração da ferramenta. Foi definido como objetivo principal da ferramenta auxiliar os projetistas com informações técnicas sobre a concepção da integração fotovoltaica. Primeiramente foram selecionados os temas mais relevantes que deveriam estar presentes na ferramenta (levantados a partir dos questionários); em um segundo momento estes temas foram ordenados para estruturar a sequência de utilização da ferramenta. Os elementos selecionados indicam também as decisões que os arquitetos devem tomar durante o processo de integração fotovoltaica. Estas decisões são apresentadas pela ferramenta, acompanhadas de explicações sobre as possibilidades de escolha. Ao final da ferramenta o arquiteto tem um panorama de suas escolhas e quais os resultados que isto implica (em geração de energia, comparativos com outras opções de instalação, edificações similares, etc.).

De uma maneira geral a maioria dos arquitetos respondentes (cerca de 70% deles) apresentaram contato próximo à tecnologia, o que indica que a ferramenta não necessita tratar de explicações básicas sobre a tecnologia. Deste modo foram excluídos conceitos sobre energias renováveis, mas mantida a explanação sobre geração fotovoltaica salientando que a mesma possibilita geração de eletricidade, para evitar confusões com a geração solar térmica.

Em relação aos conteúdos que a ferramenta deve abordar, os arquitetos consideraram todos os itens citados como de média a alta

importância (todos com notas acima de 3, para um total de 5 pontos). A maior pontuação foi obtida pelo tema de funcionamento técnico da tecnologia e a menor pontuação foi indicada para os detalhes construtivos da instalação. Foi definido então que o funcionamento técnico da instalação deve ser o primeiro item tratado na ferramenta, já que também foi citado no campo de perguntas abertas, incluindo especificações e condicionantes. O item de possibilidades de integração e características físicas dos módulos (cor, forma, flexibilidade, etc.) também recebeu pontuações significativas pelos arquitetos e assim estes aspectos foram locados na ferramenta como segunda etapa. Os tipos de módulos foram inseridos na forma de um catálogo de busca conforme suas características físicas. O item custo também foi valorizado nas entrevistas e é apresentado como último elemento, para cálculo de orçamentos e previsões de retorno após todas as definições de instalação. Na questão aberta, onde os arquitetos puderam sugerir novos temas, também foi citado o impacto ambiental evitado e comparações com outras fontes energéticas; assim este tema é citado junto aos cálculos de custos e orçamentos, na análise final da ferramenta. Como os detalhes técnicos construtivos e de instalação foram os menos citados, estes não foram incluídos no software, já que também era necessário determinar um foco para a ferramenta, prevendo-se que em futuras reformulações da ferramenta, este tópico seja inserido.

Em relação à etapa de projeto na qual deveria ser utilizado o software, os entrevistados apresentaram opinião divergente: alguns indicaram o uso da ferramenta ainda no programa de necessidades e outros indicaram seu uso no anteprojeto, onde algumas decisões arquitetônicas já teriam sido tomadas e a integração deveria ser subordinada a estas questões. Deste modo, optou-se por um software com funcionamento em etapas, com vários questionamentos aos arquitetos permitindo que os mesmos façam opções graduais pelos tipos de integração que desejam e também possam retroceder no processo quando necessário. Quando o software for usado na etapa de anteprojeto a primeira decisão a ser tomada é a da posição da instalação (localização geográfica, orientação e inclinação). Esta decisão poderá ser deixada em aberto, quando o software for usado no programa de necessidades, podendo o usuário avançar para as informações do modo de integração, podendo retornar à posição de instalação quando houver decidido este aspecto.

Nos questionários, a pergunta sobre a qualidade das integrações foi feita para identificar se havia algum modelo de integração que tivesse maior preferência pelos arquitetos, ou mesmo se havia restrição a algum modelo, de modo a orientar a seleção dos exemplares de

integração que iriam compor o banco de dados da ferramenta. Dentre as integrações apresentadas, apenas a integração com simples apoio dos módulos sobre a edificação foi rejeitada pela maioria dos arquitetos. Todas as outras possibilidades de integração foram consideradas como exemplares viáveis, indicando que a ferramenta deve englobar os mais variados tipos de integração. Esta condição de apresentar uma variedade de integrações também respeita os preceitos de Lawson (2004), que indica que o processo criativo dos arquitetos contempla uma grande variedade de informações. Assim foram englobados na ferramenta todos BIPVs e BAPVs pesquisados na etapa anterior (item 4.1) que podem auxiliar os projetistas.

Do mesmo modo, as características das integrações também indicaram que não há uma preferência dos arquitetos por algum tipo de característica, apenas uma menor preferência pela utilização dos módulos em apenas parte de um plano. Em relação às características das integrações consideradas como composição de maior qualidade, os arquitetos demonstraram que valorizam integrações que não sejam perceptíveis da fachada. Esta opinião dos arquitetos foi obtida nos questionários onde os mesmos avaliaram edificações com integração a partir de uma única foto. Então foram mantidas as diversas edificações com módulos nas fachadas para que os arquitetos possam avaliar melhor outras integrações e quem sabe considerarem outros tipos de integrações mais ‘visíveis’. Ao mesmo tempo os arquitetos também valorizaram aquelas edificações que eles consideraram como posicionadas de forma a garantir maior incidência de irradiação (coberturas com maior inclinação). Esta posição dos arquitetos salientou a importância do conhecimento sobre as diferenças de irradiação recebida por cada posicionamento dos módulos. Muitos arquitetos podem considerar que só há uma única posição de instalação ideal, onde as perdas seriam significativas com qualquer variação, então diante deste paradigma, optam por não utilizar a tecnologia para não comprometer a composição formal de seus projetos. Este conceito, ou pré-conceito dos arquitetos pode ser modificado ao serem informados que o Sol tem uma tolerância relativamente grande a desvios de inclinação e azimute (BURGER e RÜTHER, 2006; SANTOS, 2009). Assim o software deve atuar como um difusor deste conhecimento, divulgando o potencial de cada orientação e inclinação. Para maior esclarecimento deste assunto, perdas de irradiação decorrentes de variações da posição de instalação, foram elaborados ábacos de ponderação entre a forma e a função da tecnologia fotovoltaica integrada à arquitetura.

Considerando todos estes questionamentos foi iniciada a estruturação da ferramenta. Como condições gerais de funcionamento

foi definido que a ferramenta deve funcionar na forma de ‘abas’ em sequência. Assim é possível que o projetista perceba em qual etapa está e que possa retroceder a qualquer momento para alterar alguma configuração, mantendo as decisões posteriores ainda válidas. Estas condições tornam a ferramenta um software de apoio à decisão, orientando o projetista sobre quais decisões devem ser tomadas e permitindo reajustes no momento que o projetista decida fazer alguma alteração no processo. A proposta de ‘abas’ é bastante similar ao do software SunnyDesign (SMA, 2012), um software sobre energia solar fotovoltaica que é voltado às definições do projeto elétrico.

A partir destes elementos gerais foi definida a estrutura de informações disponibilizadas pela ferramenta, ou seja, seus bancos de dados: definições sobre a posição de instalação, utilizando a metodologia de Santos (2007) para gerar ábacos de irradiação para todas as capitais brasileiras (realizado no item 4.3.1); um banco de exemplares de BIPVs no mundo (elaborado no item 4.1.) e outro banco de dados com exemplares de módulos fotovoltaicos (elaborado no item 4.3.2). Também foi definido que o software trabalharia com projetos, sendo que os usuários irão salvar um novo projeto para cada consulta que forem realizar na ferramenta, podendo visualizar suas consultas anteriores como projetos já salvos e também editá-los. Ao final de cada projeto o software também gera um relatório, contendo um demonstrativo de todas as decisões tomadas na ferramenta e a implicação destas decisões na geração de energia e funcionamento do sistema. O funcionamento da ferramenta foi baseado na estrutura apresentada na Figura 32.

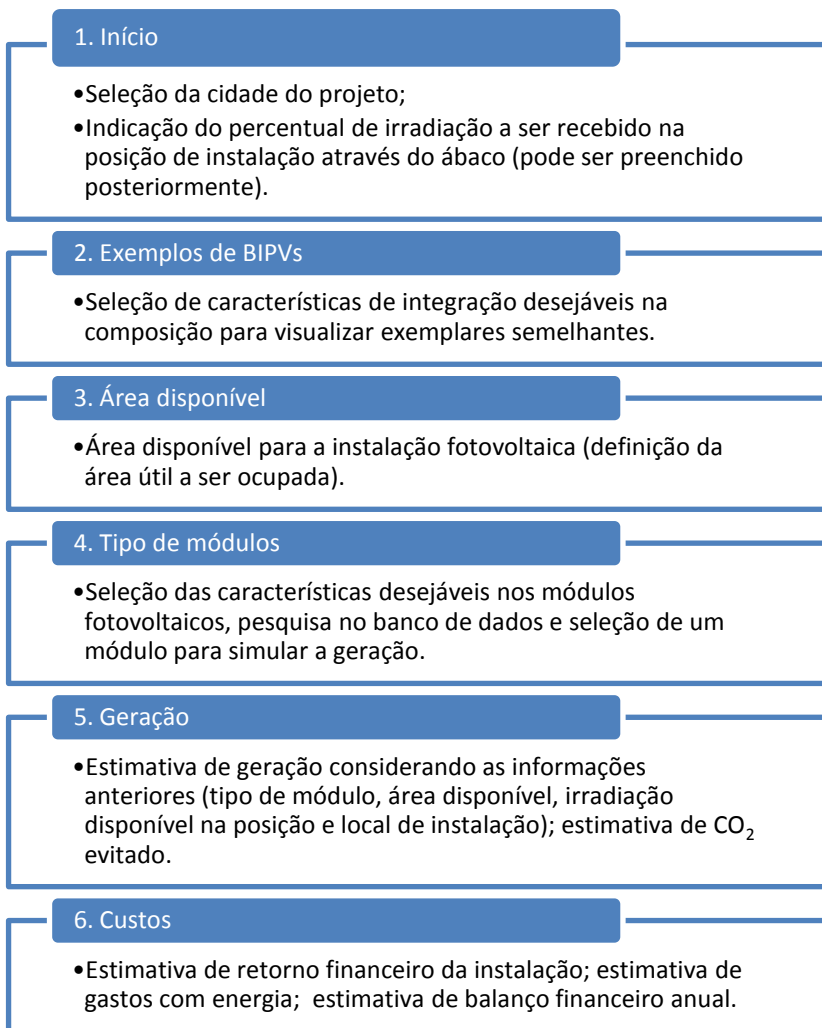


Figura 32 – Diagrama de funcionamento do software

Para ordenamento geral das abas, a ferramenta foi pensada em seis abas, ou etapas. Antes de iniciar o projeto a página do software mostra uma breve explicação sobre a energia fotovoltaica integrada à edificação e sobre os resultados que podem ser obtidos com utilização do software. Quando o usuário optar por iniciar um novo projeto, ele tem acesso às seguintes abas:



- A primeira aba apresenta a listagem das capitais brasileiras (nesta primeira versão do software foram incluídas apenas as capitais) para o que o projetista selecione a cidade de localização de seu projeto (para selecionar os dados de irradiação do local). Após a seleção já é apresentado o ábaco da cidade para o projetista, ele deve então observar e identificar no ábaco qual o percentual de irradiação a ser recebido pela posição que escolheu (e indicar este valor em um campo da ferramenta). Nesta aba há um texto explicativo sobre como analisar os ábacos no geral e também um texto sobre o ábaco da cidade selecionada, ressaltando as potencialidades do local;
- Na segunda aba o projetista deve selecionar características que pretende visualizar ou selecionar para sua integração (conforme os dados apresentados na Tabela 7). Neste momento é feita a busca no banco de dados das edificações BIPVs. Se não selecionar nenhuma característica, o software foi programado para apresentar todas as edificações cadastradas. Se houver seleção de determinadas características, o software apresentará ao usuário apenas as edificações que contemplem o conjunto de características selecionadas. Após a seleção a ferramenta apresenta os resultados (na forma de uma imagem de cada edificação). Cada edificação apresentada pode também ser visualizada em detalhes, abrindo uma nova tela com a imagem e todas as características da integração. Também é possível marcar os exemplares de interesse para serem armazenados junto ao projeto e aparecerem no relatório final.
- Na terceira aba o projetista deve indicar a área disponível para a integração fotovoltaica, sendo que o software considera somente 80% desta, pelos ajustes na locação dos módulos (valor típico das integrações realizadas nos projetos da equipe Fotovoltaica-UFSC para desconsiderar sombreamentos e obstáculos).
- Na quarta aba é selecionado o módulo a ser utilizado, onde é feita a busca definida pelas características desejadas para a integração: forma da face, cor da vedação, substrato do módulo, tecnologia, entre outros. Após a seleção, ao final da quarta aba o software também

apresenta como resultado a imagem dos módulos, ao clicar nos módulos apresentados é aberta uma nova tela com informações sobre as características dos módulos. Nesta aba deve ser selecionado um módulo, do qual são salvas as informações de tamanho e potência. Neste momento só é possível escolher um módulo (ao contrário dos exemplares de BIPV que podem ser selecionados mais de um), já que o software utiliza os dados do mesmo para os cálculos posteriores, se o projetista desejar utilizar outro módulo ele pode selecionar um novo equipamento que substituirá o anterior. Após a seleção do módulo, o software faz o dimensionamento do sistema considerando a área disponível e as características do módulo (informando número de módulos e potência instalada). Neste momento é possível editar o número de módulos se o projetista desejar utilizar uma diagramação específica.

- Na quinta aba é apresentado o rendimento do sistema de 80% (podendo ser alterado pelo usuário), a estimativa de geração para o sistema proposto (considerando a potência instalada e a irradiação recebida pelos módulos) e também a emissão de CO<sub>2</sub> evitada, em comparação com a matriz energética brasileira.
- Na sexta aba a ferramenta apresenta uma estimativa do custo de aquisição do sistema fotovoltaico e também um balanço energético anual a partir da informação de consumo médio mensal informado pelo projetista. Todas as variáveis utilizadas são referenciadas em literatura conforme é apresentado no item 4.4.

Ao finalizar a quinta aba o usuário pode salvar o seu projeto tendo então acesso a um relatório com todas as informações desenvolvidas no projeto e também a opção de exportar o relatório em formato pdf. Quando for necessário o projetista pode acessar o sistema novamente e consultar ou editar seus projetos já salvos.

#### **4.3.1. Elaboração dos ábacos de irradiação**

Conforme identificado nos questionários, os arquitetos necessitam de mais informações técnicas sobre o posicionamento dos módulos fotovoltaicos. Assim foi trabalhada a metodologia de ábacos para facilitar a análise dos arquitetos sobre as diferentes posições (inclinação e orientação). Foram desenvolvidos ábacos com os

potenciais de geração de diferentes orientações e inclinações dos geradores fotovoltaicos para todas as capitais brasileiras.

A partir de uma metodologia já desenvolvida (Santos, 2009), os dados do projeto SWERA e do programa Radiasol foram utilizados para a elaboração de ábacos que possibilitem uma análise rápida do comprometimento entre a forma e a função do sistema fotovoltaico. A forma é entendida como as possibilidades formais e compositivas da arquitetura, e a função entendida como o desempenho adequado dos módulos para garantir maior geração de energia elétrica. Foram usados os dados do Projeto SWERA (irradiação global horizontal) para cada capital para calibrar o Software Radiasol. A partir destes valores foi identificado para cada cidade qual o modelo de irradiação difusa (das disponíveis no software: Klucher (KLUCHER, 1979), Perez (PEREZ *et al.*, 1987), Hay e McKay (HAY e MCKAY, 1985) e Isotrópico (COLLARES-PEREIRA e RABL, 1979) que gerou o valor de irradiação para a inclinação igual à latitude local mais próximo ao valor indicado pelo SWERA (irradiação global inclinada).

A irradiação difusa é um dos componentes da irradiação que atinge os módulos, junto com a irradiação direta e o albedo. O cálculo da irradiação direta pode ser realizado através do ângulo de inclinação da superfície e o albedo é calculado pelo modelo isotrópico. Já o valor da irradiação difusa pode ser calculado por diversos modelos que apresentam resultados bastante diferentes entre si (NOORIAN *et al.*, 2008), por isso a necessidade de verificar qual o modelo com valor mais próximo às medições. Foi trabalhado com a estimativa de dados mais próxima da medição obtida através de dados de satélite fornecidos pelo Projeto SWERA para uma resolução espacial de 10x10 km.

Na Tabela 10 são apresentados os valores gerados pelo Radiasol com cada um dos modelos e seu desvio relativo percentual em relação ao valor médio anual apresentado pelo projeto SWERA (para superfícies inclinadas em valor igual à latitude). Assim foi identificado o modelo que gerou dados com menor desvio em relação aos valores apresentados pelo projeto SWERA para cada capital.

Tabela 10 – Análise do modelo de irradiação difusa do Software Radiasol em relação à medição de irradiação inclinada indicada pelo Projeto SWERA. As cores demonstram a variação, até 0,5%, até 1%, até 2%, até 5% e acima de 5%.

	Latitude	Radiação apresentada pelo SWERA ( $\alpha$ =latit.) em kWh/m <sup>2</sup> dia	Desvio relativo do valor indicado pelo SWERA (%)			
			Perez	Isotrópico	Klucher	Hay and McKay
Boa Vista (RR)	0°	5.3	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
Macapá (AP)	0°	5.3	1.1	1.1	1.1	1.1
Belém (PA)	1°	5.4	-0.2	-0.3	3.1	-0.3
São Luís (MA)	2°	5.5	-0.1	-0.3	3.1	-0.3
Manaus (AM)	3°	5.1	-0.1	-0.3	3.0	-0.3
Fortaleza (CE)	4°	5.6	-0.1	-0.5	2.9	-0.5
Teresina (PI)	5°	5.7	-0.1	-0.6	2.8	-0.5
Natal (RN)	6°	5.5	-0.2	-0.8	2.7	-0.7
João Pessoa (PB)	7°	5.4	-0.4	-1.1	2.4	-1.0
Recife (PE)	8°	5.2	-0.4	-1.3	2.2	-1.2
Maceió (AL)	9°	5.3	-0.6	-1.6	2.0	-1.4
Porto Velho (RO)	9°	5.2	-0.0	-1.0	2.6	-0.6
Palmas (TO)	10°	5.6	-0.3	-1.2	2.3	-0.8
Rio Branco (AC)	10°	5.2	-0.1	-1.1	2.5	-0.8
Aracaju (SE)	11°	5.5	-0.7	-1.9	1.8	-1.6
Salvador (BA)	13°	5.5	-1.1	-2.5	1.2	-2.2
Cuiabá (MT)	15°	5.6	-0.5	-2.0	1.8	-1.1
Brasília (DF)	16°	5.7	-0.5	-2.0	1.7	-1.0
Goiânia (GO)	16°	5.8	-0.6	-2.0	1.6	-1.1
Belo Horizonte (MG)	20°	5.7	-1.8	-3.7	0.2	-2.4
Campo Grande (MS)	20°	5.7	-1.4	-3.3	0.7	-2.0
Vitória (ES)	20°	5.0	-1.9	-4.4	-0.2	-3.4
Rio de Janeiro (RJ)	22°	5.2	-3.9	-6.4	-2.1	-5.1
São Paulo (SP)	23°	5.0	-2.4	-5.2	-0.7	-3.7
Curitiba (PR)	25°	4.9	-2.8	-6.0	-1.5	-4.4
Florianópolis (SC)	27°	4.8	-3.5	-7.0	-2.4	-5.2
Porto Alegre (RS)	29°	5.1	-2.5	-6.0	-1.2	-3.8

Na análise para identificação dos modelos de irradiação difusa mais próximos da medição do SWERA, Klucher e Perez foram os modelos que deram origem a valores com menor desvio em relação aos dados apresentados pelo Projeto SWERA para radiação em plano inclinado igual à latitude. O modelo de Perez foi mais próximo para cidades de menor latitude, na região Norte e Nordeste do Brasil. O modelo de Klucher apresentou menores desvios para as cidades do Sul do país. Também foi observado que mesmo que o modelo de Hay & MacKay apresentou pequenos desvios, especialmente para latitudes menores de  $15^\circ$ , seus desvios foram ainda maiores que os resultados apresentados por Perez. Para cidades com latitude acima de  $20^\circ$ , Hay & MacKay, assim como Perez, apresentou resultados com maiores diferenças do que os resultados produzidos através do modelo de Klucher.

Conforme a Figura 33, do equador até uma latitude em torno de  $16^\circ$  (Brasília e Goiânia) o modelo de Perez foi o que apresentou maior similaridade aos dados do SWERA; a partir da latitude  $20^\circ$  (Campo Grande, Belo Horizonte e Vitória) foi o modelo de Klucher que apresentou dados mais próximos às medições do Projeto SWERA. Através desta análise a ferramenta utiliza o modelo de Perez para cidades do equador até a latitude  $18^\circ$  e utilizar o modelo de Klucher para cidades com latitude entre  $18^\circ$  até  $29^\circ$  (Porto Alegre). As capitais no estado de Roraima e Amapá aparecem sem definição de modelo de irradiação difusa porque nestes casos o software não apresentou diferenças de valor entre os modelos de irradiação.

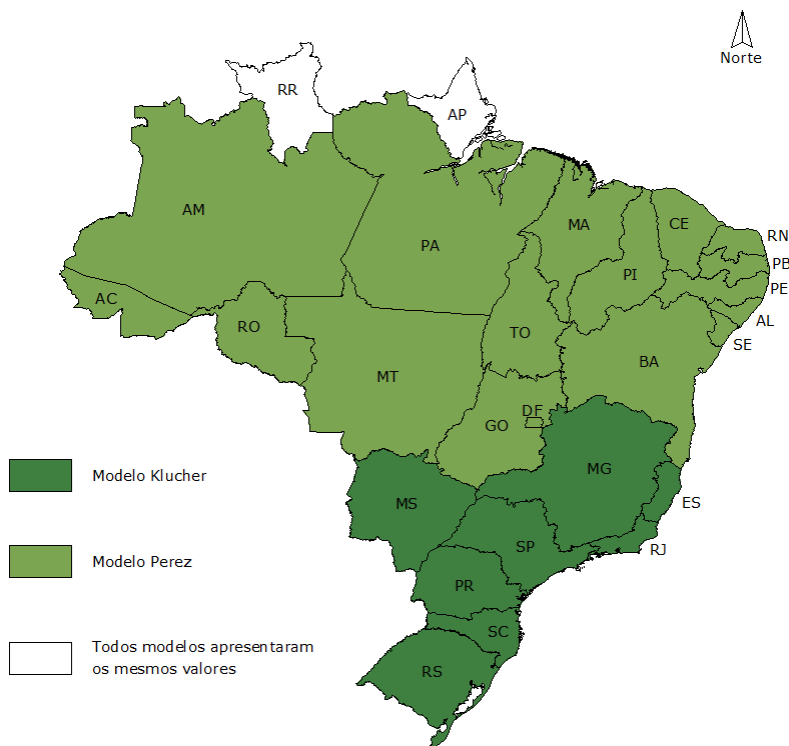


Figura 33 - Mapa de distribuição dos modelos de estimativa da irradiação difusa com resultados mais próximos às medições do Projeto SWERA

Observou-se também que para cidades com maior latitude, o próprio modelo de Klucher apresenta desvios um tanto maiores (em média de 1.2%) em relação aos desvios que o modelo de Perez apresenta para as cidades de baixa latitude (próximos a 0.4%). Pode-se inferir que dentre os modelos analisados, o modelo de Perez produz resultados mais próximos dos dados do Projeto SWERA para cidades até  $16^\circ$  de latitude e para cidades acima de  $20^\circ$  o modelo de Klucher possui maior proximidade, embora com erros um tanto maiores. Em uma análise geral do comportamento dos modelos pode-se inferir que no geral os modelos (com exceção de Klucher) apresentam melhor aplicação às cidades de baixa latitude. Para as cidades de maior latitude todos os modelos apresentam desvios maiores, optando-se por utilizar o modelo com o menor valor, Klucher.

A partir da identificação do modelo de irradiação difusa mais próxima dos resultados do Projeto SWERA, foi utilizado o programa

Radiasol, que fornece valores de irradiação em diferentes inclinações e orientações a partir de um dado de radiação horizontal, para buscar o maior valor de irradiação recebida na cidade, normalmente encontrada no azimute  $0^\circ$  N e inclinação igual à latitude local. Em várias cidades o Radiasol forneceu os maiores valores de irradiação para posições com inclinação alguns graus acima ou abaixo do ângulo igual à latitude local, conforme a Tabela 11. Em relação à orientação, todas as cidades apresentaram a máxima irradiação na orientação  $0^\circ$  (Norte). A ocorrência da maior irradiação em ângulos diferentes da latitude já foi apresentada por diversos pesquisadores (HONGXING e LIN, 2007; MONDOL *et al.*, 2009; HUMMON *et al.*), e também foi encontrada neste estudo. Os valores máximos encontrados foram utilizados como referência de irradiação (100%) para os cálculos das perdas decorridas das mudanças de azimute e inclinação das superfícies dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 11 – Definição da inclinação com máxima média diária de irradiação utilizando o software Radasol.

Capital	Latitude	Inclinação	Máxima média diária de irradiação (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Boa Vista (RR)	0°	3°	5.3
Macapá (AP)	0°	7°	5.4
Belém (PA)	1°	8°	5.4
São Luís (MA)	2°	7°	5.6
Manaus (AM)	3°	9°	5.1
Fortaleza (CE)	4°	8°	5.7
Teresina (PI)	5°	9°	5.8
Natal (RN)	6°	8°	5.5
João Pessoa (PB)	7°	9°	5.4
Recife (PE)	8°	10°	5.2
Maceió (AL)	9°	10°	5.3
Porto Velho (RO)	9°	13°	5.2
Palmas (TO)	10°	15°	5.6
Rio Branco (AC)	10°	14°	5.3
Aracaju (SE)	11°	11°	5.5
Salvador (BA)	13°	16°	5.5
Cuiabá (MT)	15°	19°	5.6
Brasília (DF)	16°	20°	5.7
Goiânia (GO)	16°	16°	5.9
Belo Horizonte (MG)	20°	19°	5.7
Campo Grande (MS)	20°	17°	5.8
Vitória (ES)	20°	15°	5.0
Rio de Janeiro (RJ)	22°	17°	5.1
São Paulo (SP)	23°	17°	5.1
Curitiba (PR)	25°	18°	4.9
Florianópolis (SC)	27°	19°	4.8
Porto Alegre (RS)	29°	20°	5.1

Em uma cidade o Radasol não encontrou em nenhuma inclinação o valor máximo mostrado pelo SWERA (caso do Rio de Janeiro), mesmo que o software tenha sido calibrado com os valores do SWERA. Isto pode ter ocorrido devido ao erro do modelo de irradiação difusa (-2,1% para a utilização do Klucher no Rio de Janeiro). Em várias cidades o valor máximo encontrado de radiação foi o mesmo apontado pelo SWERA, encontrado na inclinação igual à latitude ou com variações (até 10°). Isto demonstra que a utilização padrão da inclinação igual à



latitude é um parâmetro válido, mas também salienta que variações de inclinações (até  $10^\circ$ ) não resultam em mudanças significativas nestes valores (produzindo poucas perdas ou ganhos de irradiação diária).

Com os dados do projeto SWERA e a definição do modelo de irradiação difusa, foi utilizado o Radiasol para gerar as médias de irradiação recebidas pelas superfícies (em suas várias orientações e inclinações) em cada capital. Foram calculados valores com variação de azimute a cada  $30^\circ$  e variação de inclinação a cada  $10^\circ$ , resultando em um total de 120 dados para cada capital. Cada valor gerado pelo Radiasol foi relacionado com o máximo de geração para a cidade, identificando o percentual em relação ao máximo possível para a cidade. A partir dos dados em percentuais foram gerados os gráficos de manchas que apresentam pela diferenciação das cores os percentuais de irradiação recebidos pelas superfícies. Os ábacos gerados para todas as capitais são apresentados da Figura 34 até a Figura 60, e demonstram o potencial de irradiação média recebida por dia para cada posição de instalação.

Os ábacos mostram nas cores mais claras as orientações e inclinações que estão expostas aos índices mais altos de irradiação solar ao longo do ano, e nas cores mais escuras as menores incidências de irradiação. No eixo horizontal encontram-se as variações de orientação ( $0^\circ$  indicando o Norte, com variações de  $+180^\circ$  e  $-180^\circ$ ), e o eixo vertical apresenta as variações de inclinações da superfície (de  $0^\circ$  indicando uma superfície horizontal e  $90^\circ$  indicando uma parede vertical).

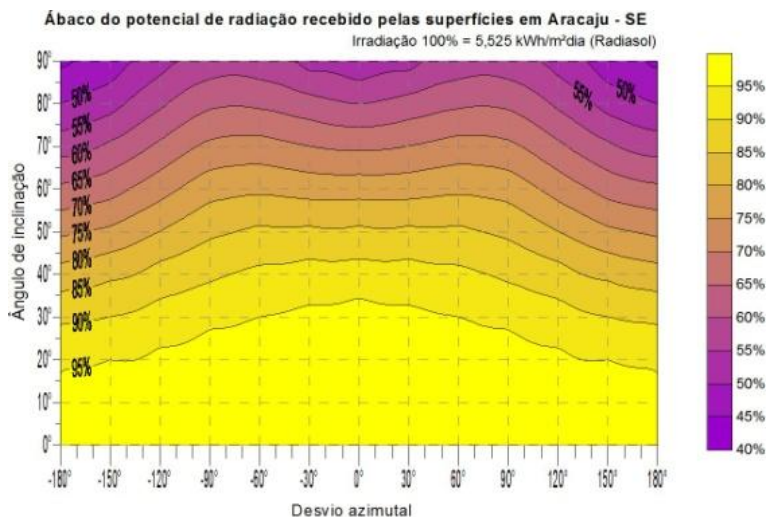


Figura 34 - Ábaco de Aracaju – SE. As superfícies com inclinações até 20° possuem o mesmo potencial independentemente de sua orientação. Se mantida a orientação ao Norte, são possíveis inclinações de até 30°. Fachadas solares possuem maior aproveitamento se orientadas a Leste e Oeste do que ao Norte, a fachada. Neste local 100% radiação = 5,5 kWh/ m<sup>2</sup>/ dia; 2.016 kWh/m<sup>2</sup>/ano), localizado a 10,9°S, 37,1°O.

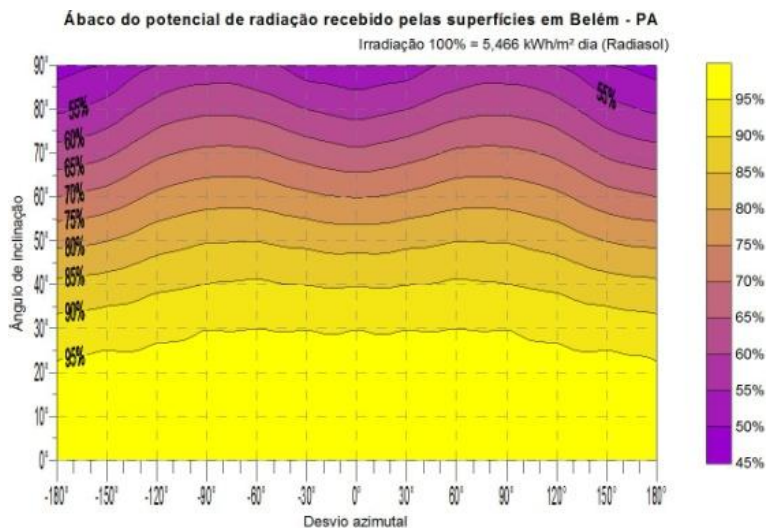


Figura 35 - Ábaco de Belém – PA. As superfícies inclinadas até 25° podem ser orientada a qualquer azimute sem perdas significativas de orientação. Fachadas solares são mais favoráveis se orientadas a Leste ou Oeste. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.995 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 1,4°S, 48,5°O.

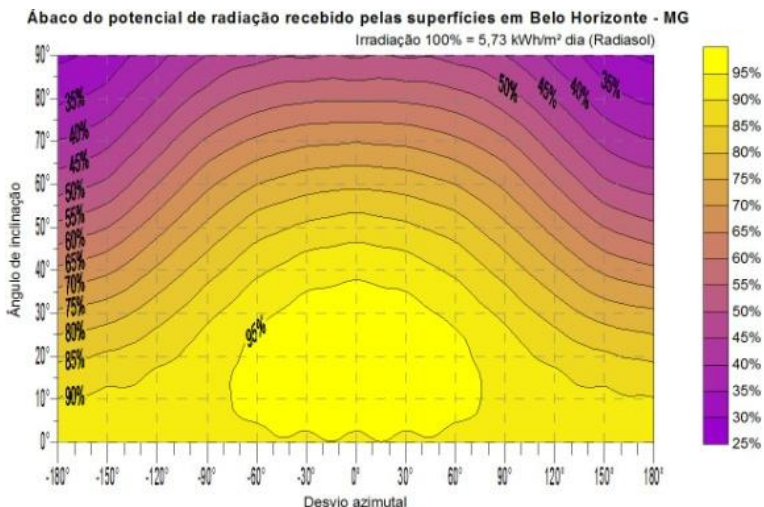


Figura 36 - Ábaco de Belo Horizonte – MG. Para atingir os maiores níveis de irradiação é necessário que a superfície mantenha uma inclinação até 30° e com variação de azimute entre +60° e -60°. Fachadas Norte ou com azimutes de +60° ou -60° possuem o mesmo aproveitamento da irradiação. Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.091 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 19,9°S, 43,9°O.

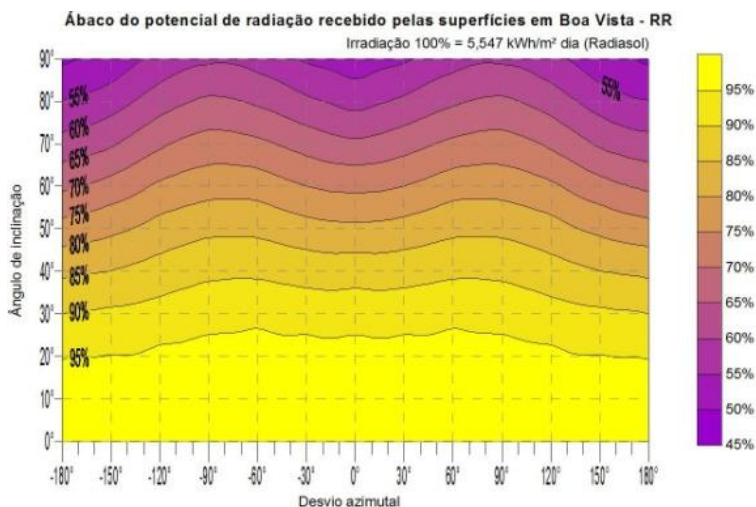


Figura 37 - Ábaco de Boa Vista – RR. As superfícies com inclinações de 20° mantêm os maiores ganhos de irradiação independente da orientação. Fachadas solares tem maior geração a Leste ou Oeste do que ao Norte. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.949 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 2,8°N, 60,6°O.

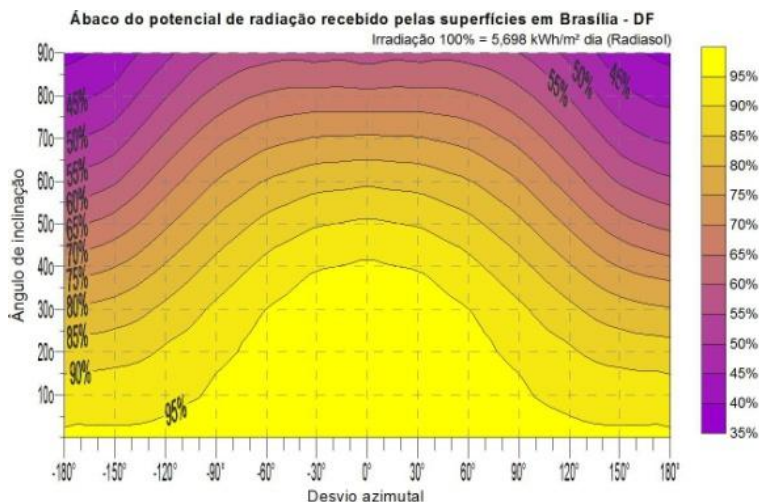


Figura 38 - Ábaco de Brasília – DF. As superfícies inclinadas têm máxima geração quando orientadas ao Norte e inclinadas até 40° ou então quando inclinadas a 10° possuem orientação variando de Leste a Oeste (entre +90° e -90° de azimute). Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.079 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 15,8°S, 47,9°O.

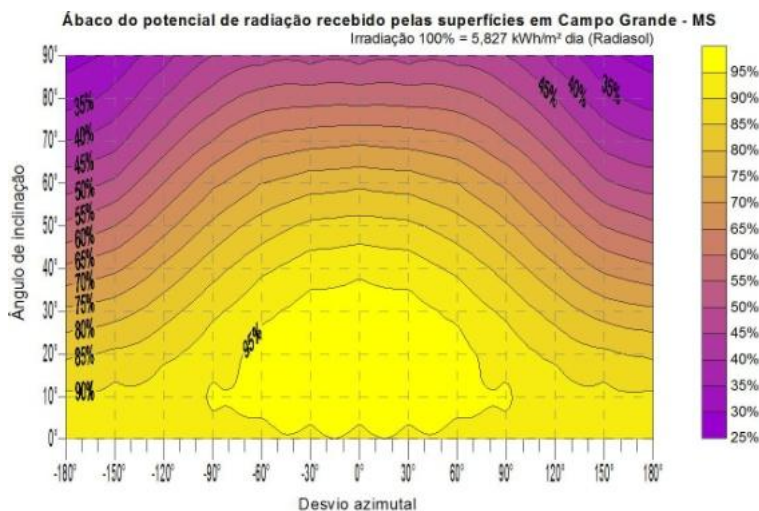


Figura 39 - Ábaco de Campo Grande – MS. Para obter a máxima irradiação é necessário que as superfícies tenham inclinação até 30° e orientação entre +60° e -60°. As fachadas possuem o mesmo aproveitamento de irradiação se orientadas entre azimute +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.126 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 20,4°S, 54,6°O.

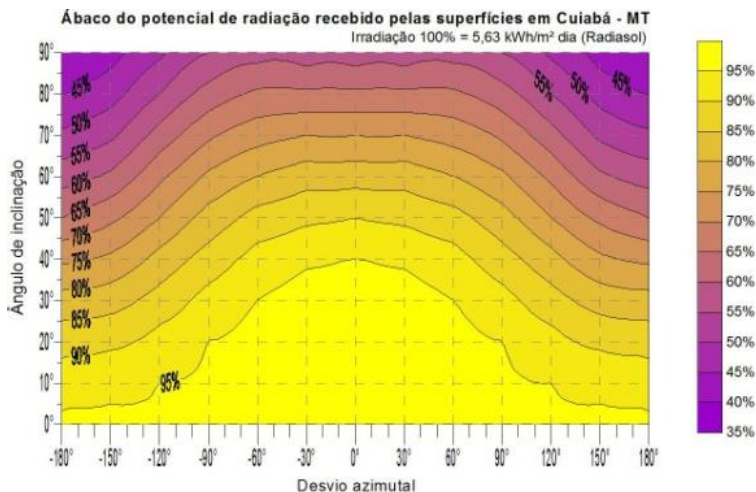


Figura 40 - Ábaco de Cuiabá – MT. As superfícies de geração tem maior aproveitamento solar quando orientadas entre Leste e Oeste (azimute entre +90° e -90°) com inclinação até 20°, ou quando orientadas ao Norte com inclinação até 40°. As fachadas possuem aproveitamento similar com orientações que variam de Leste a Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.054 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 15,6°S, 56,1°O.



Figura 41 - Ábaco de Curitiba – PR. Os melhores aproveitamentos da irradiação ocorrem quando as superfícies estão orientadas entre os azimutes +60° e -60° e inclinadas entre 5° e 30°. As fachadas solares possuem melhor aproveitamento quando orientadas entre +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 4,9 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.798 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 25,4°S, 49,2°O.

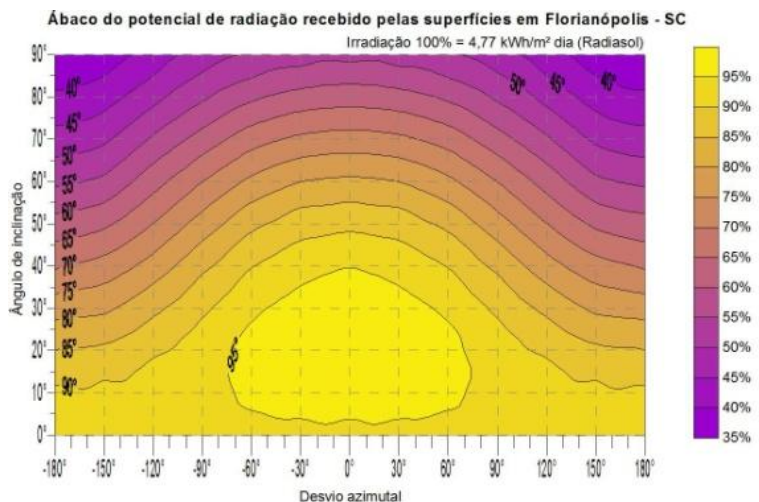


Figura 42 - Ábaco de Florianópolis – SC. Os maiores ganhos de irradiação ocorrem em superfícies orientadas entre os azimutes +60° e -60° e com inclinação entre 5° e 30°. As fachadas solares têm melhores desempenhos quando orientadas entre +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.741 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 27,5°S, 48,5°O.

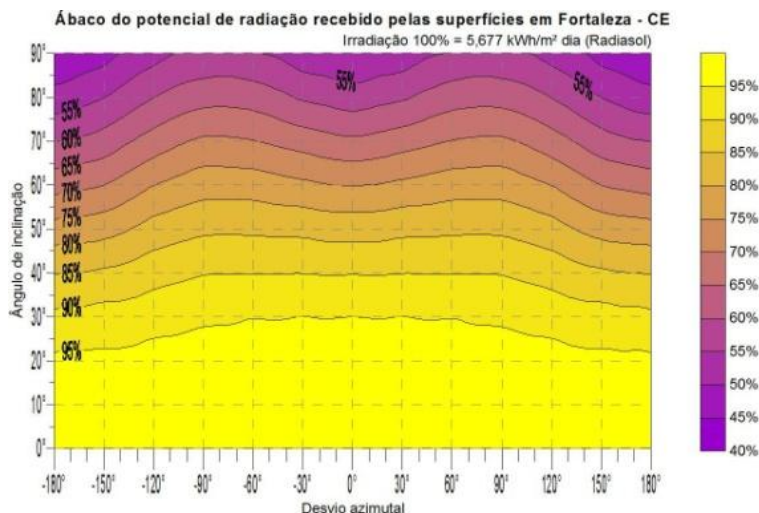


Figura 43 - Ábaco de Fortaleza – CE. Os maiores ganhos de irradiação ocorrem em superfícies inclinadas até 25°, independente de seu azimute. Dentre as fachadas solares, as orientadas a Leste ou Oeste terão melhor desempenho do que aquelas orientadas ao Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.072 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 3,7°S, 38,5°O.

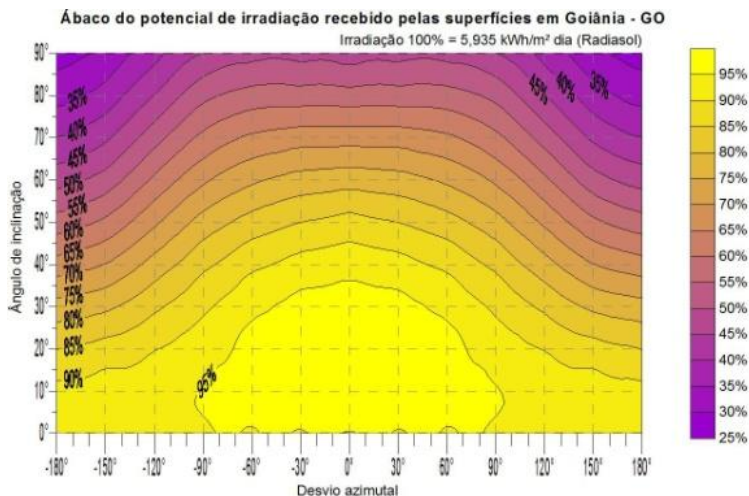


Figura 44 - Ábaco de Goiânia – GO. Os maiores níveis de irradiação são obtidos na orientação entre Leste e Oeste (passando pelo Norte) e inclinadas até 15°. Também é possível ganhos similares com orientações mais próximas ao Norte e inclinação até 30°. As fachadas orientadas entre o Leste, Norte e Oeste têm desempenho equivalente. Neste local 100% de radiação = 5,9 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.166 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 16,6°S, 49,2°O.

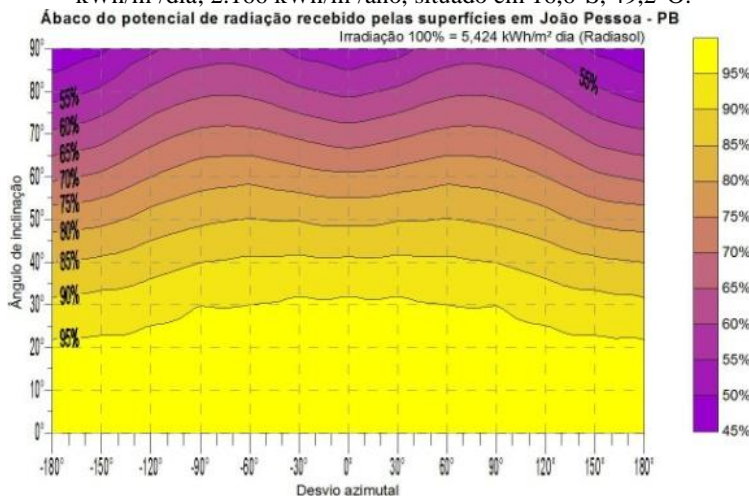


Figura 45 - Ábaco de João Pessoa – PB. Para esta cidade qualquer orientação de superfície (desde que inclinada até 20°) apresenta os maiores ganhos de irradiação. No caso das fachadas, aquelas orientadas a Leste ou Oeste terão melhor desempenho que aquelas orientadas ao Norte ou ao Sul. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.979 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 7,1°S, 34,8°O.

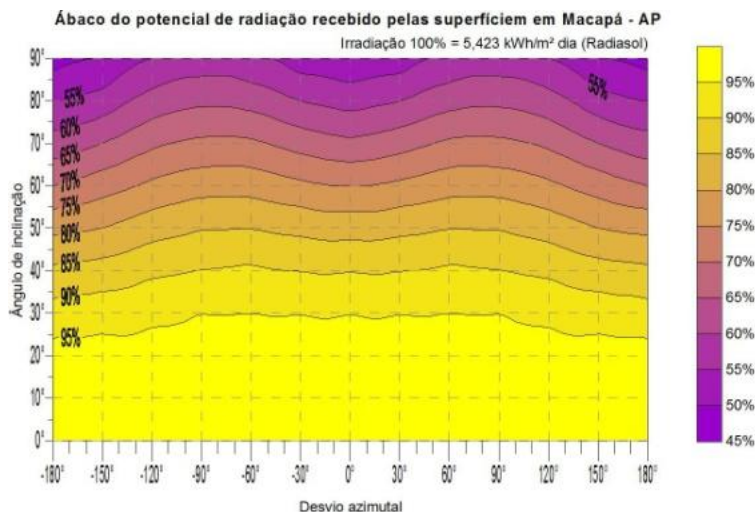


Figura 46 - Ábaco de Macapá – AP. As maiores gerações são encontradas em superfícies inclinadas até 25°, independentemente da orientação a que se encontrem. Nas fachadas solares, as fachadas Leste e Oeste possuem maior geração que a fachada Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.979 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 0,03°N, 51,1°O.

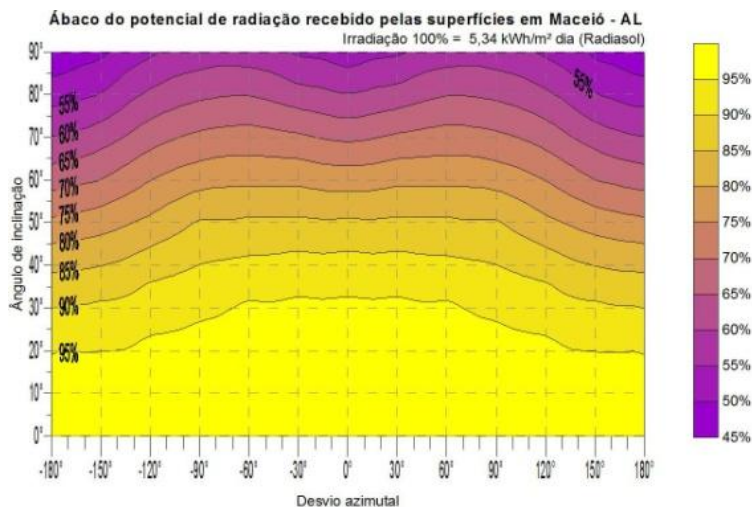


Figura 47 - Ábaco de Maceió – AL. Até 20° de inclinação é possível que as superfícies recebam o máximo de geração para o local, independentemente da orientação. Se a inclinação for de 30° a orientação deve estar entre +60° e -60° para atingir os maiores níveis. As fachadas solares são mais vantajosas a Leste e Oeste do que ao Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.949 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 9,6°S, 35,7°O.



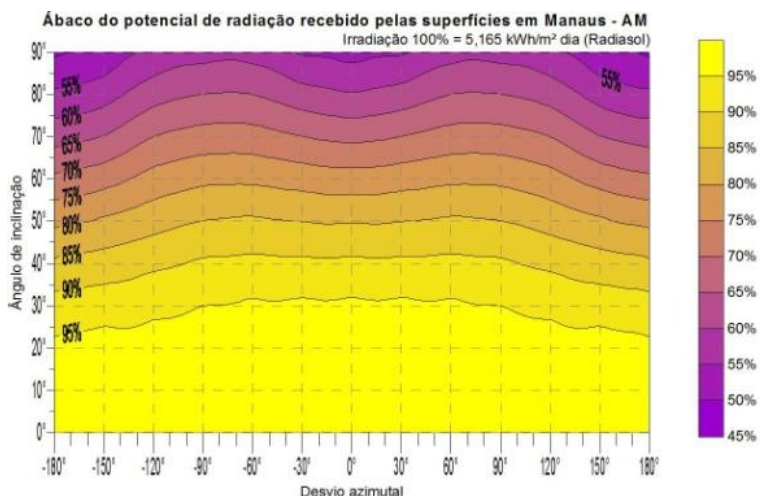


Figura 48 - Ábaco de Manaus - AM. Neste caso as superfícies com inclinação até 25° tem máxima irradiação independentemente de sua orientação. As fachadas solares recebem mais irradiação se estiverem a Leste ou Oeste em detrimento do Norte e Sul. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.885 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 3,1°S, 60°O.

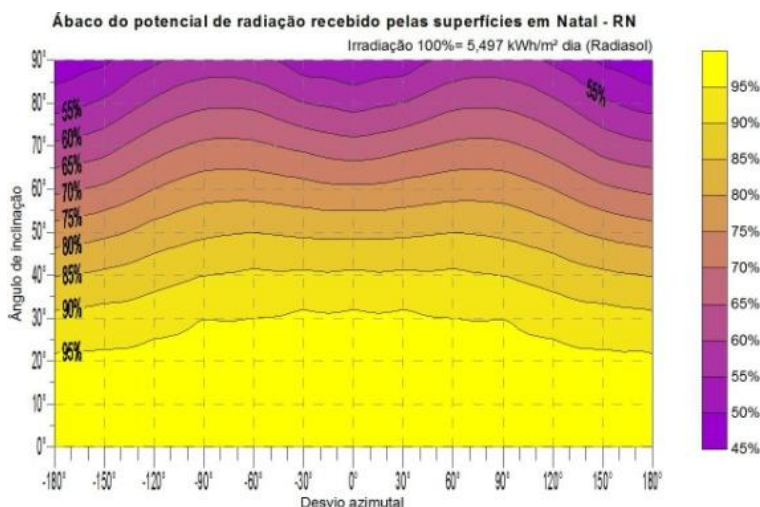


Figura 49 - Ábaco de Natal - RN. As superfícies com inclinação até 25° tem máxima irradiação independentemente de sua orientação. As fachadas solares são recebem mais irradiação se estiverem a Leste ou Oeste em detrimento do Norte e Sul. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2,006 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 5,7°S, 35,2°O.

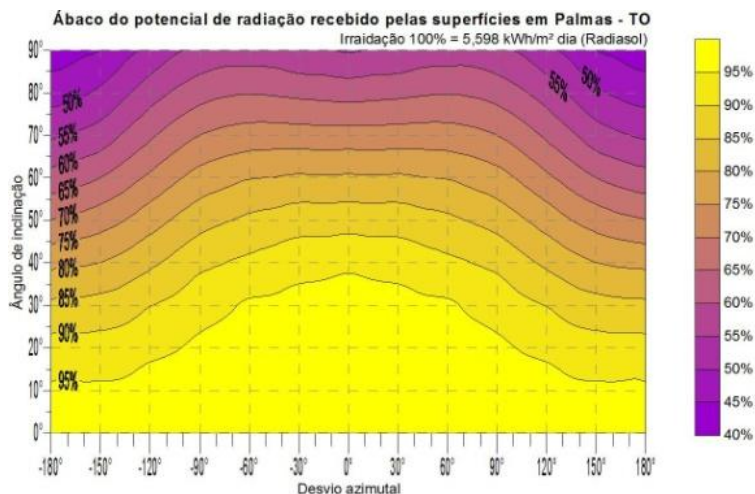


Figura 50 - Ábaco de Palmas – TO. Para receber a máxima irradiação é indicado que as superfícies estejam inclinadas até 10° para qualquer orientação, ou que orientadas entre Leste e Oeste (-90° e +90°) possuam inclinação de até 25°. As fachadas solares possuem o mesmo desempenho a Leste, Oeste e Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.043 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 10,1°S, 48,3°O.

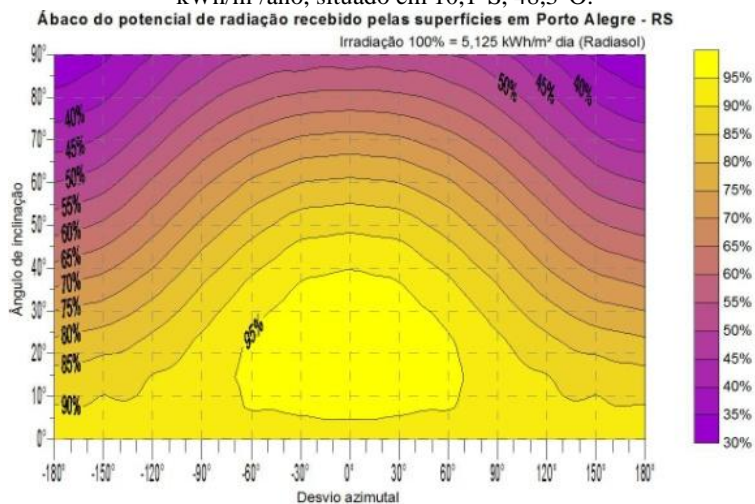


Figura 51 - Ábaco de Porto Alegre – RS. Nesta cidade é necessária a orientação entre +60° e -60° de azimute e uma inclinação entre 10 e 30° para a obtenção dos maiores níveis de irradiação. Para fachadas, os maiores níveis de irradiação são encontrados na fachada Norte, com variação de +60° ou -60°. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.870 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 30°S, 51,2°O.

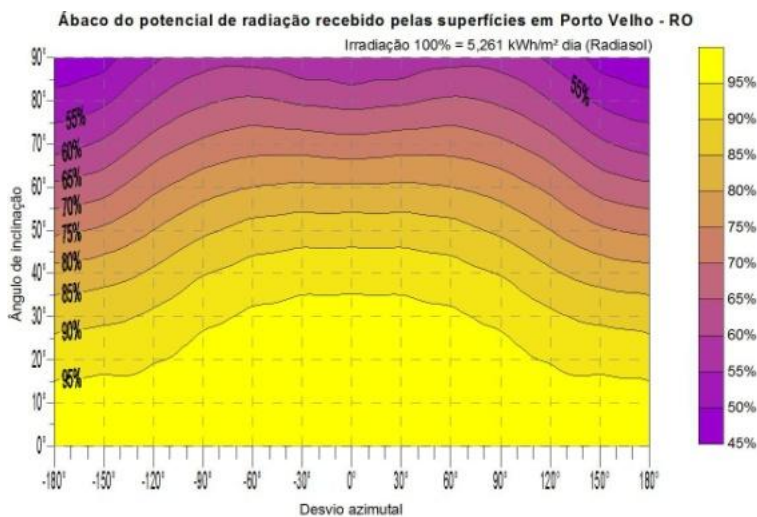


Figura 52 - Ábaco de Porto Velho – RO. É possível receber os maiores níveis de irradiação com inclinações até 15°, independente da orientação. Nas fachadas solares os níveis de irradiação são similares para fachadas orientadas de Leste a Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.920 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 8,7°S, 63,9°O.

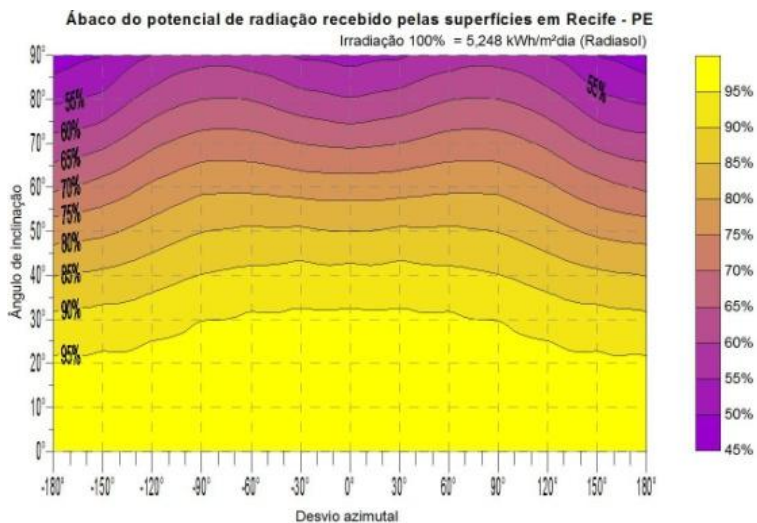


Figura 53 - Ábaco de Recife – PE. As máximas radiações são recebidas por superfícies em qualquer orientação desde que inclinadas até 20°. As fachadas solares recebem maior irradiação quando orientadas a Leste ou Oeste, em detrimento do Norte. Neste local 100% de radiação = 5,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.915 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 8°S, 34,8°O.

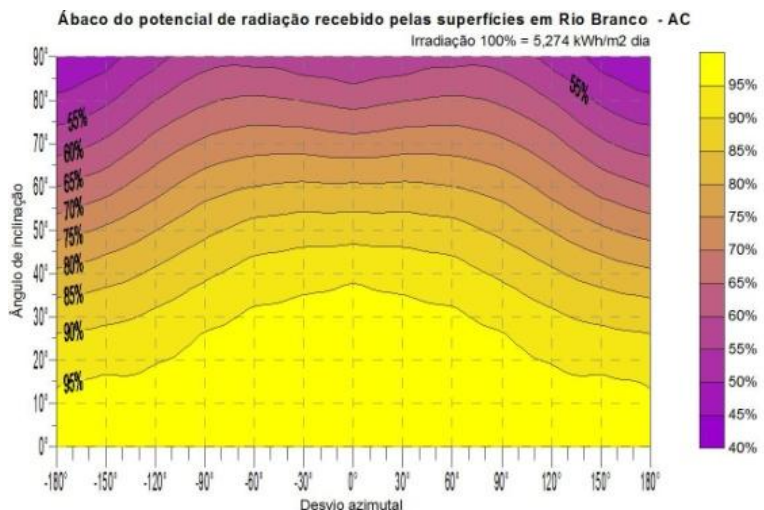


Figura 54 - Ábaco de Rio Branco – AC. Para obter os maiores níveis de irradiação é necessário manter a inclinação até 15° com qualquer orientação, ou então inclinações até 30° a orientação deve se manter entre Leste e Oeste. As fachadas solares tem desempenho similar em qualquer orientação entre Leste e Oeste, passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.925 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 9,9°S, 67,8°O.

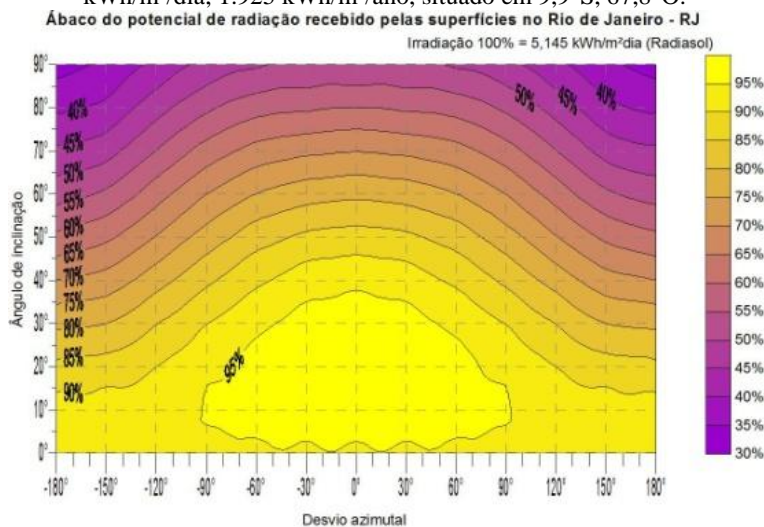


Figura 55 - Ábaco do Rio de Janeiro – RJ. Nesta cidade os maiores níveis de irradiação se mantêm próximos à orientação Norte (desvio entre +60° e -60°) e inclinação até 30°. As fachadas solares são mais vantajosas a Norte ou com desvio azimutal entre +60° e -60°. Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.878 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 22,9°S, 43,2°O.

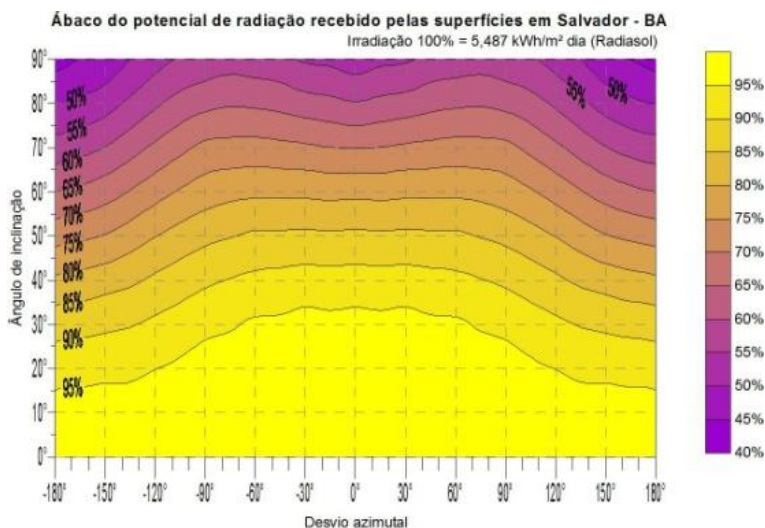


Figura 56 - Ábaco de Salvador. Os maiores níveis de irradiação são encontrados para qualquer orientação desde que mantida a inclinação de até 15°. As fachadas solares possuem maior recebimento de irradiação a Leste ou Oeste, em detrimento do Norte. Neste local 100% de radiação = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.002 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 12,9°S, 38,5°O.

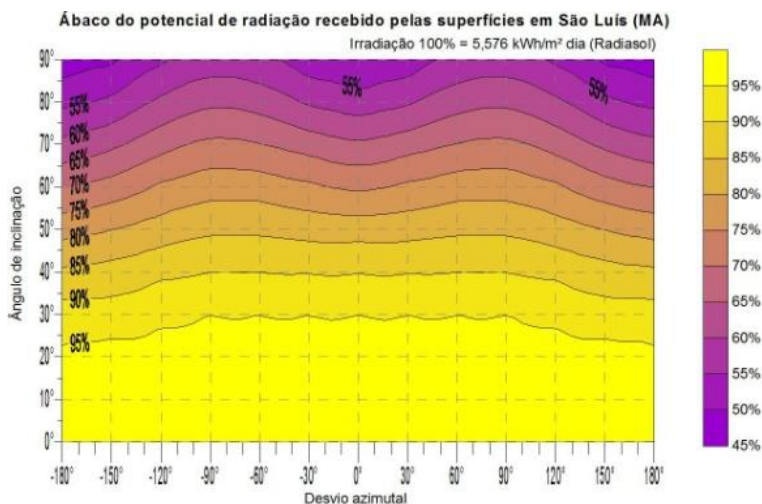


Figura 57 - Ábaco de São Luís - MA. As máximas radiações são obtidas em qualquer azimute com inclinação de até 25°. As fachadas solares possuem melhor desempenho a Leste ou Oeste do que a Norte. Neste local 100% de radiação = 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.035 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 2,5°S, 44,3°O.



Figura 58 - Ábaco de São Paulo – SP. Neste local as máximas de irradiação são obtidas em azimute entre  $-60^{\circ}$  e  $+60^{\circ}$  e com inclinação entre  $5^{\circ}$  e  $30^{\circ}$ . As fachadas solares possuem melhor desempenho ao Norte ou com desvios azimutais entre  $+60^{\circ}$  e  $-60^{\circ}$ . Neste local 100% de radiação = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.849 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $23,5^{\circ}$ S,  $46,6^{\circ}$ O.

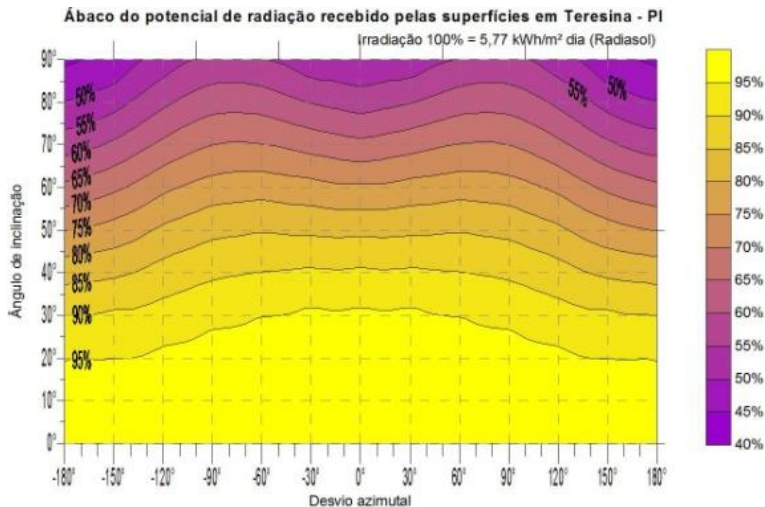


Figura 59 - Ábaco de Teresina – PI. As máximas de irradiação ocorrem com superfícies inclinadas até  $20^{\circ}$ , independente de seu azimute. Nas fachadas, aquelas orientadas a Leste e Oeste tem maior geração que aquelas orientadas a Norte ou Sul. Neste local 100% de radiação = 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 2.106 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em  $5^{\circ}$ S,  $42,5^{\circ}$ O.

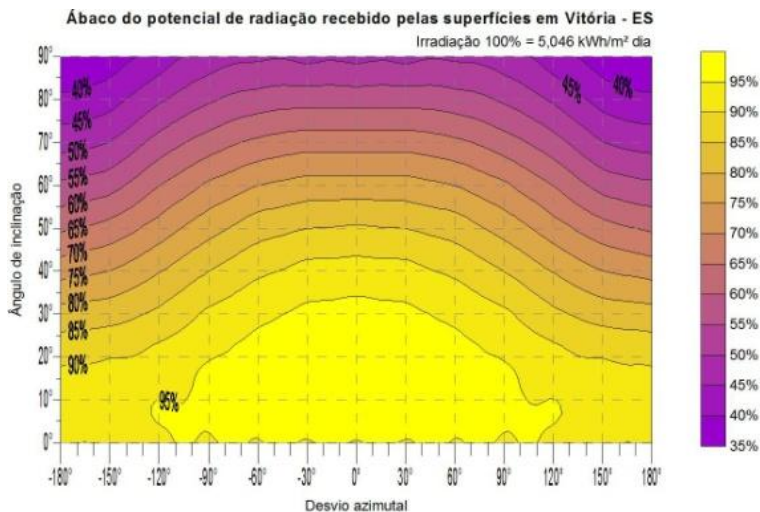


Figura 60 - Ábaco de Vitória – ES. A máxima irradiação é encontrada pelos módulos inclinados até 20° e com orientação de Leste a Oeste. As fachadas possuem desempenho semelhante orientadas de Leste a Oeste passando pelo Norte. Neste local 100% de radiação = 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/dia; 1.841 kWh/m<sup>2</sup>/ano, situado em 5,5°S, 42,5°O.

Algumas conclusões puderam ser observadas a partir dos ábacos: um alto percentual do máximo de radiação (95%) pode ser atingido em módulos inclinados até 20° em qualquer orientação para várias cidades brasileiras do Norte e Nordeste (de Fortaleza com latitude 3°S até Salvador com latitude 13°S). Assim para instalações nestes locais pode-se manter a inclinação e deixar a orientação livre para o projetista. Para orientações até 35° é possível manter uma radiação de 90% do máximo, também independente da orientação. Observando-se que as inclinações usuais de coberturas de residências estão entre 15° e 35° (SANTOS e RÜTHER, 2012), pode ser concluído que a inclinação das coberturas não é uma limitação para a integração fotovoltaica. Para instalações comerciais e industriais a inclinação é normalmente ainda menor, com o uso de telhas de concreto ou metálicas, assim as perdas nestes casos podem ser ainda menores, de até 5% independente da orientação. Nestas cidades (de Fortaleza com latitude 3°S até Salvador com latitude 13°S) ainda se percebe outra característica, um formato de “M” na parte superior do gráfico, o que indica que nestes locais as fachadas para Leste ou Oeste possuem ganho de até 10% em relação a fachadas orientadas a Norte. No pior cenário para estas cidades, a orientação de uma fachada ao Sul, as perdas podem chegar a 50% do máximo de

radiação para o local. Estas cidades estão listadas na primeira coluna da Tabela 12.

Para as cidades localizadas na região central do país, outras características são observadas. Para atingir um máximo de 95% de radiação recebida a inclinação dos módulos deve ser mantida até  $35^\circ$  e a orientação também deve ser observada para que se limite a desvios de no máximo  $60^\circ$  para Leste ou Oeste. Se a inclinação for menor, até  $15^\circ$  ou  $20^\circ$ , pode-se manter as perdas em até 10%. O pior cenário nestas cidades são as fachadas Sul, com perdas que chegam a 55-60%. Entre estas cidades estão incluídas Brasília, Cuiabá, Palmas, Porto Velho e Rio Branco.

Nas cidades mais ao Sul do país os ábacos apresentam uma mancha central mais clara, indicando que neste locais a integração deve ser feita com um pouco mais de restrições para manter os maiores níveis de radiação. Nestas cidades o máximo de 95% só é atingido quando o desvio azimutal limita-se a  $60^\circ$  para Leste ou Oeste e a inclinação é trabalhada entre  $5^\circ$  e  $25^\circ$ . Para integrações com orientação Norte, é possível uma inclinação de até  $35^\circ$ . Para fachadas as perdas chegam a 60-65% quando orientadas a Sul e 50% quando orientadas ao Norte. Estas cidades estão marcadas na última coluna da Tabela 12 (limitação de 95% de irradiação próxima à latitude). A Tabela 12 apresenta a distribuição das características salientadas para cada uma das capitais.



Tabela 12 – Recomendações de incidência de irradiação

Capital	95% de irradiação a 15° de inclinação em qualquer azimute.	Em fachadas há maior geração a Leste e Oeste em detrimento do Norte	Alta geração (95% ) somente a Norte e inclinação próxima à latitude
Aracaju (SE)	X	X	
Belém (PA)	X		
Belo Horizonte (MG)			X
Boa Vista (RR)	X	X	
Brasília (DF)	Característica intermediária		
Campo Grande (MS)			X
Cuiabá (MT)	Característica intermediária		
Curitiba (PR)			X
Florianópolis (SC)			X
Fortaleza (CE)	X	X	
Goiânia (GO)			X
João Pessoa (PB)	X	X	
Macapá (AP)	X	X	
Maceió (AL)	X	X	
Manaus (AM)	X	X	
Natal (RN)	X	X	
Palmas (TO)	Característica intermediária		
Porto Alegre (RS)			X
Porto Velho (RO)	X	X	
Recife (PE)	X	X	
Rio Branco (AC)	Característica intermediária		
Rio de Janeiro (RJ)			X
Salvador (BA)	X	X	
São Luís (MA)	X	X	
São Paulo (SP)			X
Teresina (PI)	X	X	
Vitória (ES)			X

As características apresentadas pelos ábacos possibilitam uma análise mais rápida pelos projetistas, fazendo com que eles percebam quais as melhores opções entre as definições de forma e função.

No geral, conclui-se que integrações fotovoltaicas em inclinações que vão da horizontal até a latitude ou até 10° tem pouca variação na radiação recebida, independentemente da variação de azimute (nas latitudes acima de 15° o azimute só deve variar até 90°). Nas cidades com latitude maior que 15°, pequenas variações de inclinação (10° acima ou abaixo) mantém altos ganhos de radiação (95%) quando a

orientação também é mantida com desvios máximo de 60° (para Leste ou Oeste).

Para cidades com latitude até 10°, inclinações de até 20° levam a perdas anuais de radiação de somente 5% para qualquer orientação. Nestas latitudes as perdas decorrentes de alta inclinação (em especial instalações na vertical) independem da orientação, inclusive deve-se evitar a orientação a Norte, que possui perdas até 5-10% maiores que as perdas das fachadas a Leste ou Oeste.

Algumas cidades não apresentam nenhuma das características de forma clara, resultando em ábacos com manchas mais sutis e intermediárias às características citadas. As cidades não marcadas são Brasília, Cuiabá, Palmas e Rio Branco, que têm ábacos que indicam: em altas inclinações pouca variação, mas não chegando a ter a orientação Leste e Oeste com recebimento de irradiação superior ao Norte; e uma característica intermediária em baixas inclinações mantendo 95% de irradiação com cerca de 5 a 10° de inclinação, não chegando aos 15° que expressam maior possibilidade de projetos, mas também não restringindo tanto a orientação ao Norte e à latitude local.

Na Figura 61 pode-se observar a localização das capitais e as características observadas nestes locais.

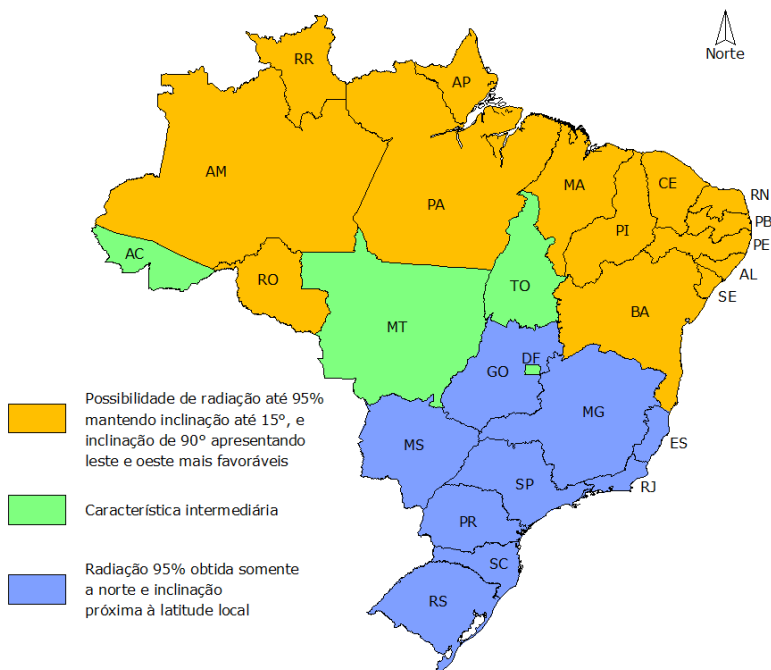


Figura 61 – Mapa apresentando as capitais e suas características de posicionamento dos módulos para os maiores ganhos de radiação.

As características apresentadas ocorreram de forma similar em cidades geograficamente próximas, indicando que estas características parecem comuns a determinadas regiões.

Nos estados mais ao Sul do país (latitude maior que 15°) os maiores níveis de irradiação só ocorrem em posicionamentos bem próximos do ideal com inclinação similar à latitude (até uma variação de 10° para mais ou para menos) e orientação Norte (até uma variação entre 60 e 90°). Como observado nos ábacos, estas variações não podem ser utilizadas de forma combinada, sugerindo ao projetista que escolha a posição da integração priorizando ou a orientação ou a inclinação dos módulos fotovoltaicos.

Nos estados mais ao Norte do país (latitude até 15°) são maiores as possibilidades de posicionamento com bons índices de irradiação. Nestes locais é possível qualquer posição de orientação, desde que seja mantida uma inclinação de até 15°. Nestes locais também há prevalência da orientação a Leste e Oeste (em detrimento do Norte) quando a instalação for vertical (90° de inclinação).

Em algumas capitais foram identificadas algumas características mais específicas, com maiores ou menores possibilidades de integração. Manaus aparece como a cidade com maior potencial para instalação de fachadas solares, gerando 50% do potencial na localização menos favorável (fachada vertical ao Sul). As cidades que também possuem vantagens para fachadas solares são Belém, Boa vista, Fortaleza, João Pessoa, Macapá, Maceió, Porto Velho, Recife, Rio Branco e São Luiz. As cidades com menor potencial para fachada são Campo Grande, Goiás e Belo Horizonte, que apresentam somente 25% de geração para fachadas verticais ao Sul. Em relação à diversidade de possibilidades para instalação obtendo os máximos níveis de geração (95%), Belém, Fortaleza, Macapá, Manaus, Natal, Recife e São Luiz apresentam níveis de irradiação de 95% para qualquer orientação com inclinação até 23°. As cidades que apresentam maior limitação nas integrações foram Porto Alegre e Florianópolis, seguidas por Curitiba e Belo Horizonte.

A partir da análise dos ábacos e das características levantadas, o projetista pode avaliar qual o melhor posicionamento para seu projeto, ou ainda, se possível, a melhor localização geográfica para seu investimento (por exemplo, grandes empresas que possuem filiais em diversos estados).

#### **4.3.2. Validação dos ábacos de irradiação**

Para verificar a validade deste modelo de ábacos, que pode simplificar a análise dos projetistas em uma primeira avaliação e evitar cálculos específicos para cada possibilidade de instalação, foi feita uma análise do desempenho de quatro sistemas fotovoltaicos instalados em diferentes posições. Os quatro sistemas analisados estão instalados em Florianópolis – SC. Os dados utilizados foram dos anos de 2010 e 2011 dos seguintes sistemas: Colégio de Aplicação da UFSC (CA), Hospital Universitário da UFSC (HU), Aeroporto Hercílio Luz (HL) e Sistema de 2 kWp instalado na UFSC (2S). As características dos sistemas instalados em cada edificação são descritas na Tabela 13.

Tabela 13 – Características dos sistemas analisados.

Sistema	Colégio Aplicação	Hospital Universitário	Aeroporto Hercílio Luz	Sistema 2kWp
Potência instalada	2 kWp	2 kWp	2 kWp	2 kWp
Orientação	31°	-5°	43°	0°
Inclinação	5°	5°	7°	27°
Módulo	Silício microcristalino (15 x 132,5 Wp)	Silício microcristalino (15 x 132,5Wp)	Silício microcristalino (16 x 132,5 Wp)	Silício amorfo flexível (53 x 32Wp 12 x 27Wp )
Inversor	SMA SB 2500	SMA SB 2500	SMA SB 2500	SMA SB 2000

Os sistemas CA, HU e HL foram escolhidos por serem sistemas com instalação recente (2009) e possuem a mesma tecnologia (silício microcristalino amorfo). O sistema 2S foi escolhido por ser um sistema instalado na posição estimada como ideal para localização geográfica (orientação ao azimute Norte e inclinação igual à latitude local). Na análise para validação dos ábacos, foi verificado se os sistemas CA, HU e HL possuem geração proporcional ao 2S conforme o indicado pelas manchas do ábaco de Florianópolis.

Primeiramente foi identificada a posição dos quatro sistemas no ábaco (Figura 62). As três posições de instalação (CA, HU e HL) se referiram ao mesmo percentual de aproveitamento da irradiação (95%) no ábaco, devendo, portanto possuir dados similares de recebimento de irradiação. Para isso foi quantificada a irradiação mensal recebida pelos três sistemas instalados nas posições não ideais (CA, HU e HL), conforme apresentado na Tabela 14. Foram levantados os dados de irradiação dos anos de 2010 e 2011 e confrontados com a irradiação indicada no ábaco.

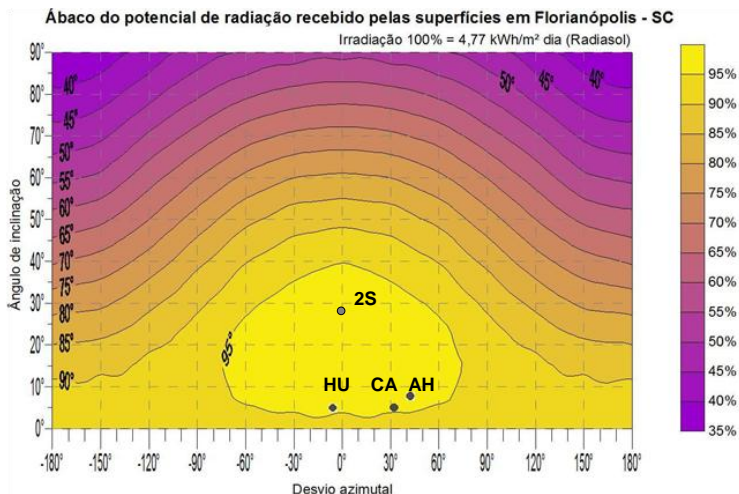


Figura 62 - Posição das instalações no ábaco

Tabela 14 – Irradiação recebida pelos sistemas fotovoltaicos

	Colégio Aplicação		Hospital Universitário		Aeroporto Hercílio Luz	
	2010 (kWh)	2011 (kWh)	2010 (kWh)	2011 (kWh)	2010 (kWh)	2011 (kWh)
Janeiro	143,58	149,33	132,77	132,12	143,78	152,37
Fevereiro	130,44	119,83	122,79	108,87	139,66	127,23
Março	120,03	115,82	113,20	108,70	124,31	123,63
Abril	94,08	105,60	85,84	101,42	101,17	124,01
Maior	75,19	77,44	71,44	80,56	83,55	99,79
Junho	73,52	58,51	71,02	63,23	84,64	78,16
Julho	67,41	56,20	68,90	61,68	81,42	76,87
Agosto	92,42	61,60	91,50	70,21	98,77	85,76
Setembro	92,24	86,31	88,89	101,92	102,82	118,22
Outubro	132,57	91,29	124,82	136,35	141,77	137,46
Novembro	156,48	146,57	138,37	128,34	159,31	152,83
Dezembro	147,03	140,51	127,16	140,51	147,14	163,67
Média mensal	110,42	100,75	103,06	102,83	117,36	120,00
Irradiação indicada no ábaco	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Irradiação medida	76%	69%	71%	70%	80%	82%

Os três sistemas foram analisados verificando a irradiação que receberam e então confrontados com os ábacos. A máxima irradiação prevista pelo Radiasol é de 4,8 kWh/m<sup>2</sup> dia, representando 100% de aproveitamento da irradiação. Então, as três instalações analisadas foram localizadas no ábaco correspondente à Florianópolis, conforme suas inclinações e orientações e identificadas a mancha em que se situam. As três instalações situaram-se na mancha que indica um recebimento de cerca de 95% irradiação, o que resulta em um valor médio diário de 4,56 kWh/m<sup>2</sup> dia.

A irradiação medida pelos sistemas nos dois anos de estudo apresentou percentuais mais baixos que o indicado pelo ábaco, conforme é apresentado na Figura 63. Nesta figura é apresentado o percentual de irradiação em medias diárias de cada mês em relação ao valor indicado pelo ábaco (95% do ideal), todos os valores foram relacionados com o valor estimado pelo ábaco de 4,56 kWh/m<sup>2</sup> (valores maiores que 1 indicam irradiação superior ao ábaco, valores inferiores a 1 indicam recebimento de irradiação inferior ao estimado pelo ábaco). No geral os sistemas apresentaram médias de irradiação mais baixas que o previsto para os anos de 2010 e 2011, CA com 76% e 69%, HU com 71% e 70%, AH com 80 e 82% e S2 com 78% e 77%, respectivamente. Embora os valores reais tenham sido menores, o comportamento dos quatro foi similar, demonstrando que podem ter sido dois anos atípicos, com menor irradiação incidindo sobre todas as superfícies, o que pode ser verificado com análise da irradiação recebida pelo sistema posicionado na localização ideal, o S2.

Também deve ser considerado que os sistemas CA e HU possuem uma perda decorrente de sombreamento de árvores e edificações próximas que atingem os sistemas ao final da tarde, como já é percebido desde 2009 (RUTHER *et al.*, 2010). Outra causa para esta perda pode estar relacionada a erros do Projeto SWERA, já que este considera dados de radiação recebidos pela superfície a partir da radiação medida por satélite e pode apresentar algumas superestimativas com erros da ordem de 14% (PEREIRA *et al.*, 2006).

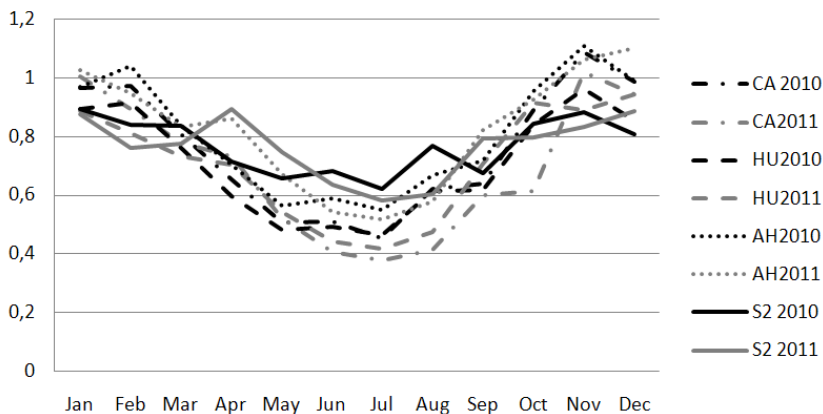


Figura 63 – Irradiação diária mensal recebida pelos sistemas em comparação com a irradiação indicada pelo ábaco (1).

Para confirmar a uniformidade das zonas do gráfico onde estão localizados os três sistemas, foi feita uma análise estatística para verificar a igualdade entre as médias. O teste de Bartlett (MAGALHÃES e LIMA, 2009) indicou a igualdade dos desvios padrões e o teste ANOVA (MAGALHÃES e LIMA, 2009) também indicou a igualdade entre as médias (dados apresentados na Tabela 15). Deste modo, percebe-se que a igualdade de irradiação da mancha apresentada no ábaco condiz com os dados reais de irradiação incidente nos geradores fotovoltaicos, nesta condição específica.



Tabela 15 – Análise estatística das radiações recebidas pelos sistemas

Teste de Bartlett		
	2010	2011
$S_c^2 =$	825,15	950,23
$B =$	0,3929	0,4050
$K_1 =$	1,2424	1,2424
$\frac{B}{K_1} =$	0,3162	0,3260
$X_{0,05}^2(2) =$	5,991	5,991
Como 0,3162 e 0,3260 < 5,991, com 95% de confiança não rejeita-se a hipótese de igualdade dos desvios padrões.		
ANOVA		
	2010	2011
SQG =	176,7040	211,9129
MQG =	88,3520	105,9564
$MQR = S_c^2 =$	825,15	950,23
F =	0,1070	0,1115
$F_{0,05}(2,33) =$	3,32	3,32
Como 0,1070 e 0,1115 < 3,32, com 95% de confiança não rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias		

Também foi feita a análise estatística para comparar as gerações produzidas pelos três sistemas, verificando se o desempenho técnico dos sistemas também refletia a igualdade da irradiação recebida. Estes dados são apresentados na Tabela 16 e demonstram que também há igualdade entre as médias de geração dos sistemas durante os anos de 2010 e 2011. Esta análise demonstrou que os três sistemas que possuem configurações bastante semelhantes também têm funcionamento semelhante.

Tabela 16 – Análise estatística das gerações produzidas pelos sistemas

Teste de Bartlett		
	2010	2011
$S_c^2 =$	638,3193	621,3885
$B =$	0,2028	0,0219
$K_1 =$	1,2424	1,2424
$\frac{B}{K_1} =$	0,1632	0,0176
$X_{0,05}^2(2) =$	5,991	5,991
Como 0,1632 e 0,0176 < 5,991, com 95% de confiança não rejeita-se a hipótese de igualdade dos desvios padrões.		
ANOVA		
	2010	2011
$SQG =$	69,7359	7,4388
$MQG =$	34,8679	3,7194
$MQR = S_c^2 =$	638,319	621,3885
$F =$	0,0546	0,0059
$F_{0,05}(2,33) =$	3,32	3,32
Como 0,0546 e 0,0059 < 3,32, com 95% de confiança não rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias		

As taxas de recebimento de irradiação de cada um dos geradores fotovoltaicos foram comparadas com a irradiação recebida pelo gerador orientado e inclinado na posição ideal (Sistema de 2 kWp da UFSC, denominado S2) durante os anos de 2010 e 2011. De acordo com a análise, os sistemas apresentaram desempenho bastante próximo do indicado pelo ábaco, recebendo em torno de 95% da irradiação recebida pelo sistema instalado na posição de máxima irradiação para a cidade, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Comparação entre as irradiações recebidas pelos quatro sistemas analisados.

	CA	HU	AH	S2
2010	Geração mensal (kWh/kWp)			
Janeiro	143,6	132,77	143,78	132,02
Fevereiro	130,4	122,79	139,66	124,06
Março	120,0	113,20	124,31	123,28
Abril	94,1	85,84	101,17	105,54
Mai	75,2	71,44	83,55	96,84
Junho	73,5	71,02	84,64	100,51
Julho	67,4	68,90	81,42	91,60
Agosto	92,4	91,50	98,77	113,53
Setembro	92,2	88,89	102,82	99,54
Outubro	132,6	124,82	141,77	124,63
Novembro	156,5	138,37	159,31	130,48
Dezembro	147,0	127,16	147,14	119,01
<i>Yield</i> anual	1.324,98	1.236,71	1.408,34	1.361,04
Percentual em relação ao sistema 2S	97,4%	90,9%	103,5%	100%
2011	CA	HU	AH	S2
Janeiro	149,33	132,12	152,37	129,2076
Fevereiro	119,83	108,87	127,23	112,0371
Março	115,82	108,7	123,63	114,2531
Abril	105,6	101,42	124,01	131,7478
Mai	77,44	80,56	99,79	109,9928
Junho	58,51	63,23	78,16	93,56018
Julho	56,2	61,68	76,87	85,81088
Agosto	61,6	70,21	85,76	88,8779
Setembro	86,31	101,92	118,22	117,096
Outubro	91,29	136,35	137,46	117,675
Novembro	146,57	128,34	152,83	122,6801
Dezembro	140,51	140,51	163,67	130,5253
<i>Yield</i> anual	1.209,01	1.233,91	1.440,0	1.353,46
Percentual em relação ao sistema 2S	89,3%	91,2%	106,4%	100%

A relação entre os valores de irradiação recebidos por cada sistema podem ser melhor observado na Figura 64.

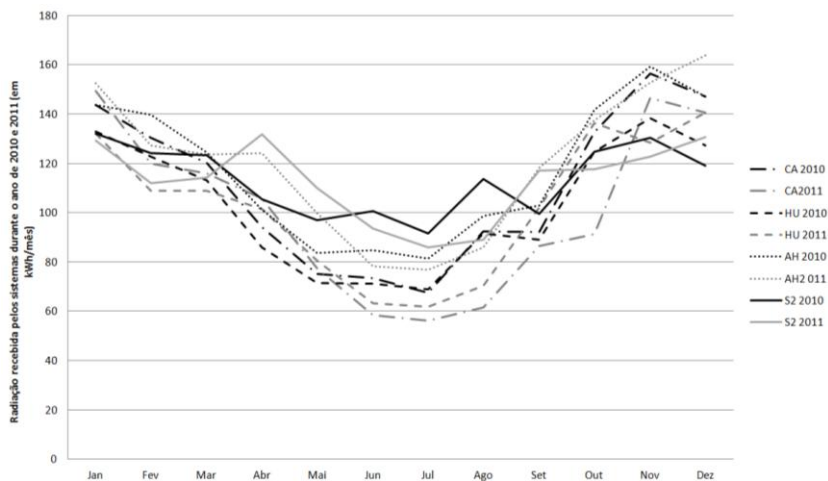


Figura 64 – Radiação recebida pelos quatro sistemas analisados.

De acordo com a análise, os sistemas apresentaram desempenho próximo do indicado pelo ábaco, gerando em torno de 95% (variando entre 89 e 106%) da geração máxima estimada para a cidade. Cabe ressaltar que o sistema tomado como geração de 100%, é um sistema que utiliza outra tecnologia (silício amorfo), tecnologia com menor perda de geração em altas temperaturas e também que está em funcionamento há quase dez anos, o que pode depreciar um pouco a eficiência dos módulos. Estes valores de comparação da irradiação real recebida foram mais próximos da medida do ábaco que os valores teóricos estimados (que variaram entre 69 a 82%). Também foi feita a análise estatística de comparação de médias duas a duas, considerando a irradiação de cada sistema em posição diferente com 95% da irradiação na posição ideal. As médias dos três sistemas, nos dois anos de estudo apresentaram desvios padrões diferentes segundo a distribuição de Fisher, mas igualdade entre as duas médias segundo a distribuição de Student.

Mesmo não sendo as condições ideais de verificação dos rendimentos, o estudo é válido por demonstrar a igualdade entre as gerações de sistemas posicionados na mesma zona do ábaco, e que o percentual de geração também é bastante similar ao indicado nos ábacos. Este estudo específico demonstrou a consistência entre as gerações de sistemas posicionados na mesma zona do ábaco e ainda que o percentual de geração real seja bastante similar ao indicado nos ábacos.

### 4.3.3. Caracterização dos módulos fotovoltaicos

Para compor a ferramenta também foi elaborado um banco de dados de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado (que pode mudar rapidamente com as mudanças no cenário dos fabricantes). Os módulos foram cadastrados na ferramenta para auxiliar na decisão da definição de qual módulo utilizar na integração. A caracterização foi de acordo com características elétricas e físicas dos módulos.

O banco de dados foi formado a partir dos módulos apresentados pelo Inmetro dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (INMETRO, 2012) apresentados nas Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos – Módulos (edição 05/12). Assim todos os módulos cadastrados no software são de equipamentos testados e classificados por uma instituição nacional de referência. O programa de etiquetagem classifica os equipamentos em níveis de A até E de acordo com sua eficiência de conversão. Foram selecionados para cadastro no software apenas os módulos com classificação A, ou seja, com os maiores níveis de eficiência. A eficiência dos módulos classificados como A é acima de 13,5% para módulos de silício cristalino. Para os módulos de filmes finos a classificação A é dada para módulos com eficiência acima de 9,5%. Como há apenas um módulo classificado como A e apenas nove módulos cadastrados no total, foram cadastrados todos os módulos de filmes finos já que esta tecnologia possibilita que os módulos sejam flexíveis e, portanto possam ser aplicados sobre superfícies curvas. A classificação geral dos 132 módulos é apresentada no Apêndice C. Da listagem do INMETRO foram obtidos apenas os nomes dos módulos. As informações específicas de cada módulo foram obtidas a partir do site dos fabricantes de cada equipamento.

Assim os modelos cadastrados no software são apenas exemplares das possibilidades da tecnologia fotovoltaica, mas comercialmente existem muitas opções de módulos, com tamanhos, cores e formas variadas que os projetistas poderão definir posteriormente à utilização do software. Os módulos certificados foram caracterizados individualmente através dos sites dos fabricantes de cada módulo, com as características apresentadas na Tabela 8.

Para conhecimento geral das características dos módulos cadastrados pelo INMETRO para orientar os usuários da ferramenta, foi feita uma análise observando as características mais presentes exclusivamente neste grupo (módulos classificados como A pelo INMETRO).

Em relação à tecnologia a metade dos módulos é de silício monocristalino, seguido por módulos de silício multicristalino (44%), uma parcela menor é de módulos de silício amorfo (7%) e somente 1% é de CIGS (Figura 65).

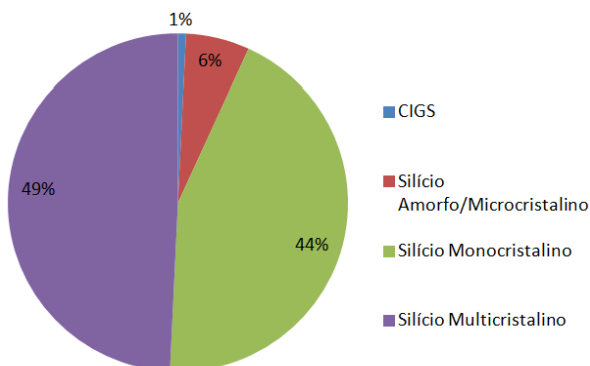


Figura 65 – À esquerda as tecnologias cadastradas e à direita as faixas de potências.

Na Figura 66 observam-se as potências dos módulos, cerca de metade deles com potência entre 201 e 250 Wp. O grupo com menor ocorrência é de módulos até 50 Wp (apenas 1%). As demais faixas de potência apresentam quantidades similares, cerca de 10% cada. No geral a maior parte dos módulos (90%) apresenta potência entre 100 e 300Wp.

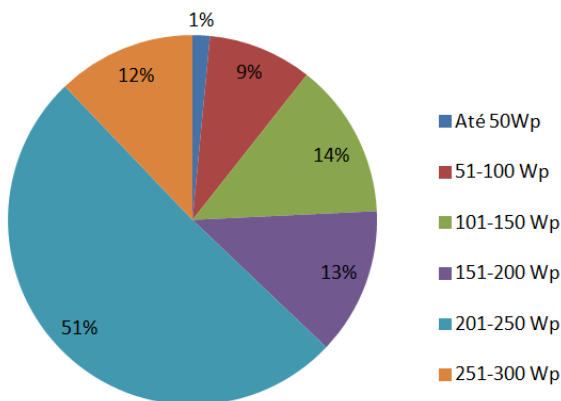


Figura 66 – Faixas de potência em que se encaixam os 132 módulos analisados.

Na Figura 67 são apresentados os módulos cadastrados conforme a distribuição de suas dimensões, onde cada ponto representa um módulo localizado segundo sua largura e comprimento. Foram retirados desta figura os módulos de silício amorfo, por possuírem dimensões muito diferentes das demais (comprimentos acima de 2,8 m), o que poderia dificultar a visualização dos dados no gráfico. De acordo com este gráfico percebe-se certa regularidade no formato dos módulos, com vários exemplares do mesmo tamanho (um tanto devido às series dos fabricantes que apresentam módulos com 5 potências diferentes mas do mesmo tamanho). Mas mesmo assim pode-se observar que vários módulos apresentam tamanhos de comprimento próximo a 1,6 m, e larguras próximas a 0,65 m ou 1 m. Esta regularidade também pode ser devida ao tamanho e configuração elétrica das células que compõe os módulos. Estes valores são indicados para fornecer um tamanho ‘médio’ para os arquitetos utilizarem como base para seus projetos.

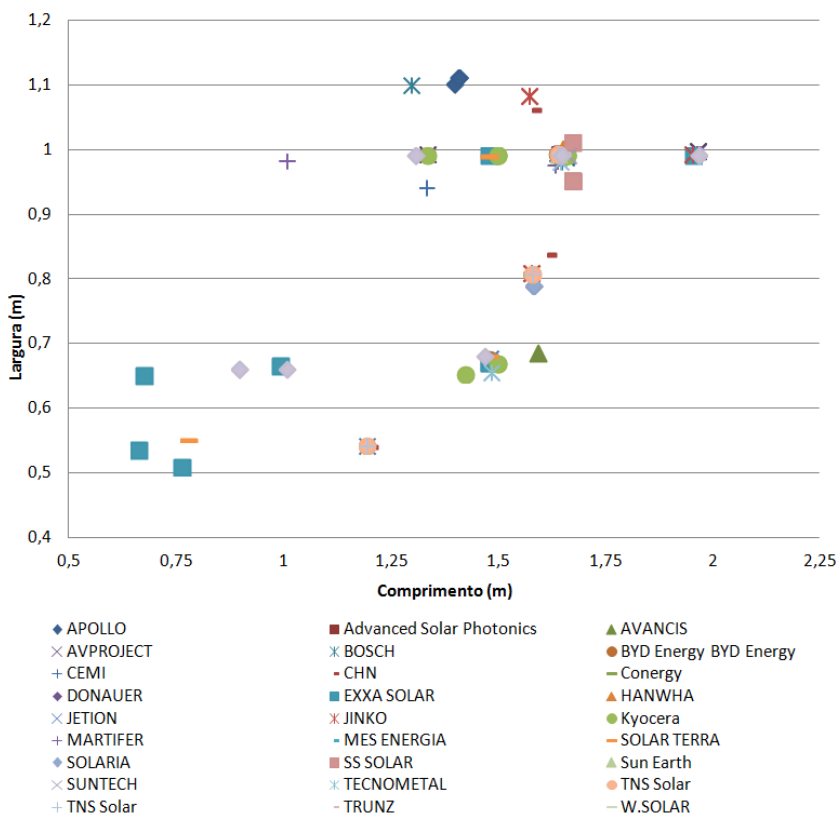


Figura 67 – Distribuição das dimensões dos módulos fotovoltaicos

Em relação aos pesos dos módulos (Figura 68) a metade dos módulos tem peso entre 15 e 20 kg, seguido pelos pesos entre 10 e 15 kg e entre 20 e 25 kg. Estes pesos são dos módulos como um todo, e não seu peso por m<sup>2</sup>, valor normalmente utilizado para cálculos da estrutura civil das edificações. Mesmo assim é possível observar que existe uma diferença de peso que pode ser empregado para as escolhas do projetista. A relação entre peso e área dos módulos pode ser observada na Figura 69.

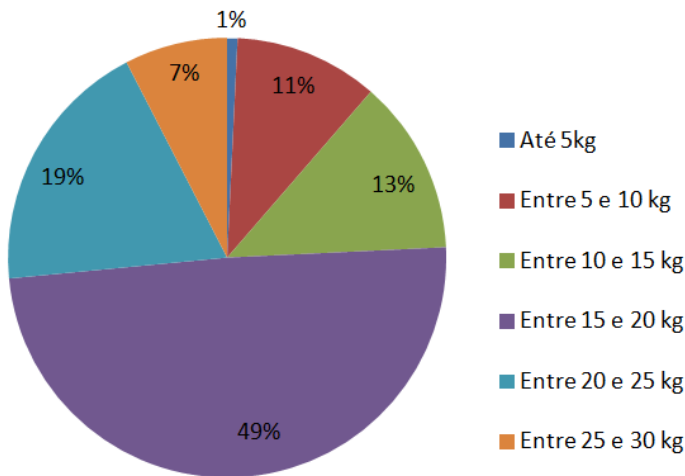


Figura 68 –Faixa de peso dos módulos



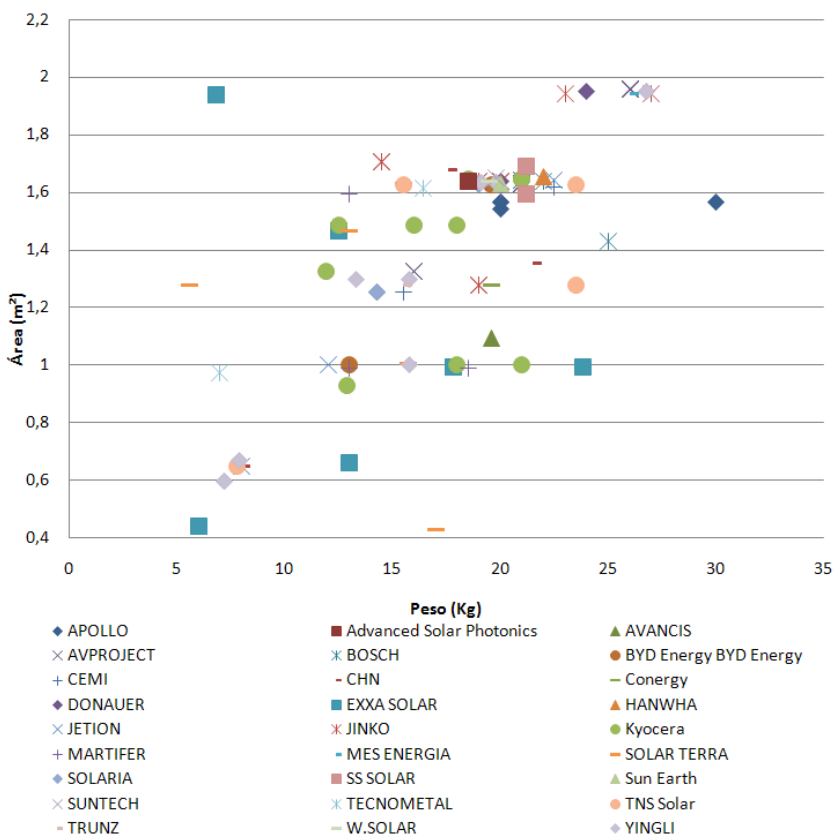


Figura 69 – Relação entre o peso dos módulos e a área ocupada

Em relação ao substrato dos módulos, a maioria possui substrato rígido, com apenas 3 módulos (dos 142 analisados) com substrato flexível. Mesmo em menor número os módulos flexíveis apresentam potencial na arquitetura por também possibilitarem a integração em superfícies curvas.

Na Figura 70 observa-se a presença ou não de moldura dos módulos, o que pode alterar na percepção visual dos mesmos. Grande parte dos módulos possuem moldura metálica, o que os torna com formas mais salientes mesmo quando agrupados.

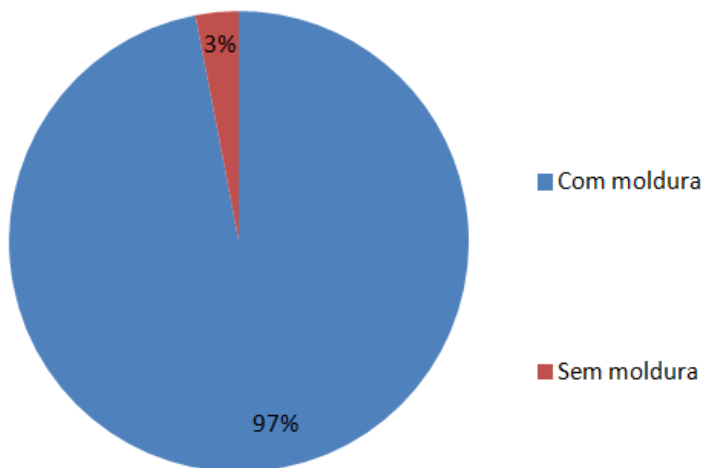


Figura 70 – Frequência de presença de moldura nos módulos

Na Figura 71 observa-se a eficiência dos módulos aqui analisados. De acordo com as tecnologias presentes as eficiências se distribuem de 6 a 16 %. Como foram analisados somente os módulos mais eficientes, ficaram de fora da análise outras eficiências menores. A maioria dos módulos (75%) possui eficiência entre 14 a 15,9%, seguidos pelos módulos com potência entre 12 a 13,9%.

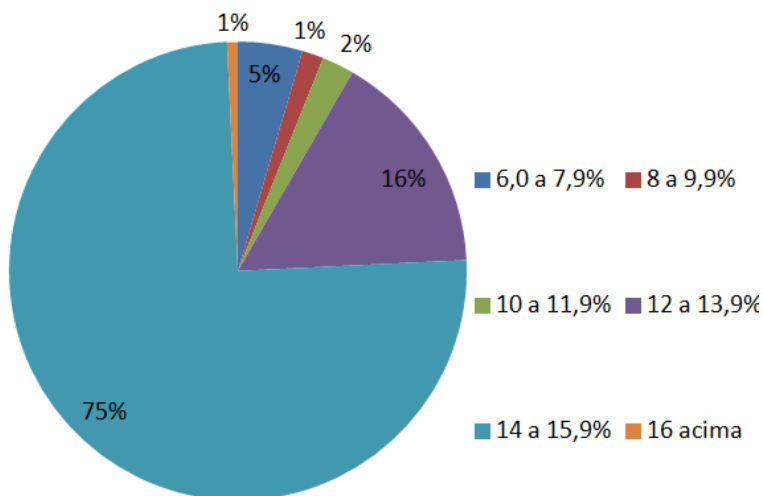


Figura 71 – Frequência da faixa de potência dos módulos cadastrados

Quanto à cor, a maioria dos módulos são azulados, devido principalmente aos módulos de silício policristalino, conforme Figura 72.

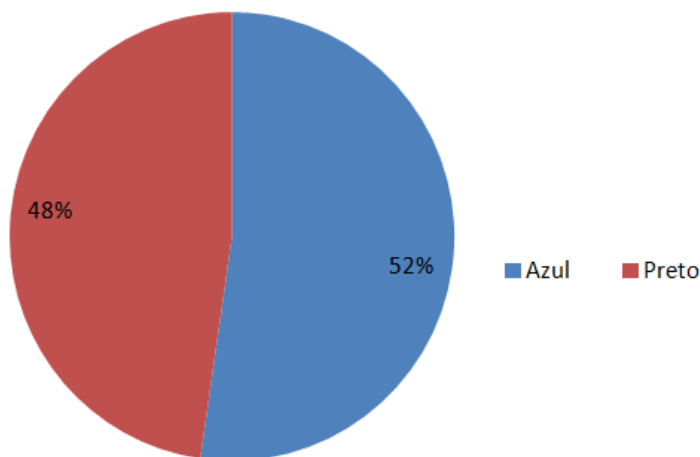


Figura 72 – Frequência da aparência da coloração dos módulos

Outro critério analisado foi o da transparência do módulo, onde se observou que todos os módulos analisados são opacos, ou seja, não permitem a passagem da luz por eles.

No geral os módulos analisados apresentaram várias características similares, o que pode facilitar a integração com o projeto, por parte dos arquitetos, por trabalharem com valores ou informações que são comuns a vários equipamentos. Esta questão apareceu também na etapa de validação do software onde alguns arquitetos comentaram que não havia necessidade de uma busca tão específica pelos módulos, que eles prefeririam inicialmente apenas ter uma ‘noção’ das características gerais dos mesmos.

Assim pode-se caracterizar que a maioria dos módulos fotovoltaicos cadastrados pelo INMETRO é de silício monocristalino ou multicristalino, possuem potência entre 201 e 250 Wp, com peso entre 15 e 20 kg, com substrato rígido, com moldura e opacos, com tamanho próximo a 1,6x1 m e eficiência entre 14 a 15,9%.

#### 4.4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA NA FORMA DE SOFTWARE

Para iniciar o desenvolvimento do software foram definidas as configurações gerais de funcionamento da ferramenta e elaborada a

estrutura de trabalho do software. O objetivo deste trabalho foi definir a estrutura geral do software e verificar seu desempenho, não abrangendo a programação computacional. Este serviço foi contratado de terceiros e os resultados apresentados a seguir são relacionados ao planejamento do software.

Como estrutura geral o software foi desenvolvido em uma página na internet. O profissional terceirizado trabalhou com a linguagem de programação PHP que é uma das linguagens mais utilizadas na web, além de ser gratuita e com código aberto. O banco de dados foi configurado em MySQL, um servidor e gerenciador de banco de dados (SGBD) relacional de licença dupla (sendo uma delas de software livre). Durante todo o desenvolvimento do software o contato entre o autor e o programador do software foi intenso para acompanhar todo o desenvolvimento do processo. Para o bom resultado na programação do software é essencial que o programador conheça o máximo possível dos desejos do cliente (no caso o autor do trabalho), para que o cliente vá tomando conhecimento do trabalho aos poucos e evite retrabalho por parte do desenvolvedor (PILONE e MILES, 2008).

O início do software se deu pela criação de um usuário e três bancos de dados. O usuário foi caracterizado como administrador que tinha acesso ao cadastro do banco de dados e alimentou o sistema com os dados. Os bancos de dados foram criados para armazenar as informações sobre os BIPVs, sobre os módulos fotovoltaicos e também sobre os ábacos para as capitais brasileiras. Após a criação do usuário e dos bancos de dados pelo usuário, o pesquisador cadastrou as características de cada banco. Cada características foi cadastrada com opções de seus ‘atributos’, para serem posteriormente escolhidas no cadastramento de cada elemento (ábaco, BIPV ou módulo fotovoltaico). As características e opções foram correspondentes às classificações de BIPV no item 4.1 (Tabela 18) e as caracterizações dos módulos feitas a seguir (Tabela 19).

Tabela 18 - Cadastro do banco de dados BIPV

Característica	Atributos
Nome da Edificação	(preencher)
Foto	(anexar imagem)
Projetista	(preencher indicando se é o projetista da integração arquitetônica ou do sistema fotovoltaico)
Localização	Europa
	Ásia
	África
	Oceania
	América
Uso da edificação	Residencial
	Comercial
	Industrial
	Serviços
	Institucional
Tipo da integração	Nova edificação (BIPV)
	Integração em retrofit
	Integração aplicada à edificação
Característica arquitetônica	Edificação histórica
	Arquitetos expoentes
	Edificações convencionais
Visualização da integração	Integração invisível ou não visualizada das fachadas
	Integração visível ocupando toda uma face
	Integração visível ocupando parte de uma face
Local da integração:	Cobertura
	Fachada
	Cobertura / Fachada inclinada
	Brises e outros elementos
Superfície de integração	Plana
	Curva
Visualização através da superfície	Opaca
	Translúcida / Transparente
Substrato do módulo	Rígido
	Flexível
Moldura do módulo	Com moldura
	Sem moldura
	Não identificado
Tecnologia do módulo	Silício Multicristalino
	Silício Amorfo e Microcristalino
	Silício Monocristalino
	HIT
	Outros

Materiais construtivos da edificação	Concreto aparente
	Vidro / Policarbonatos
	Madeira
	Metal
	Cerâmica
	Alvenaria
	Outros
Fonte	(digitar fonte dos dados)

Tabela 19 – Cadastro do banco de dados dos módulos fotovoltaicos

Característica	Atributos
Modelo do módulo	(preencher)
Fabricante	(preencher)
Foto	Anexar imagem
Tecnologia	Silício multicristalino
	Silício monocristalino
	Silício amorfo e microcristalino
Potência nominal	(preencher) Wp
Comprimento	(preencher) mm
Largura	(preencher) mm
Peso	(preencher) kg
Visualização do Substrato	Opaco
	Translúcido
	Transparente
Estrutura do substrato	Rígido
	Flexível
Moldura	Com moldura
	Sem moldura
Cor/tonalidade	Azul
	Roxo
	Marrom
	Vermelho
	Verde
	Amarelo
Outro	
Brilho	Superfície brilhosa
	Superfície opaca
Eficiência	(preencher) %

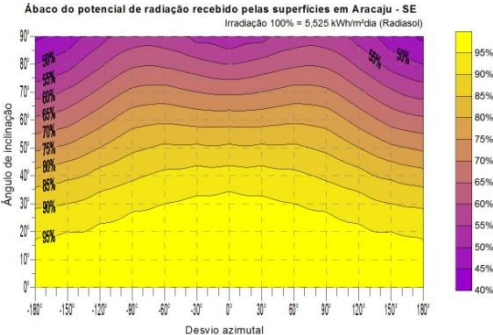
Foi definido que as características seriam as configurações dos elementos (como uso da edificação, tipo de integração, etc.) e como atributos definiu-se a apresentação da característica daquele elemento (uso residencial, integração em edificação nova, etc.). Grande parte dos atributos são restritos, ou seja, foram previamente cadastrados como

opções, ordenando e limitando o cadastro de cada item. Apenas os atributos de identificação das características técnicas dos módulos fotovoltaicos, que tratam de dados numéricos (potência, peso, tamanho, etc.) foram cadastrados como campos abertos onde o administrador deveria digitar o valor correspondente. Algumas características também foram cadastradas com atributos nominais, ou seja, que seriam preenchidos com textos de informação. Dentre estas estão os nomes dos BIPVs e módulos, fabricantes, projetistas, entre outros. Cada item cadastrado também teve um campo para inserção de uma imagem, com a foto do exemplar em questão (foto da edificação, do módulo, ou o próprio ábaco da cidade).

A elaboração do banco de dados foi estruturada já considerando a ferramenta de busca que o sistema apresentaria aos usuários finais. Os BIPV e módulos foram inserido no software com as mesmas características que são buscadas pelo usuário (por exemplo, a busca pela característica de uso da edificação do tipo residencial irá fazer com que a ferramenta só selecione os BIPVs que apresentaram este atributo, o uso residencial). Os dados preenchidos com atributos nominais também podem ser buscados pela ferramenta em um campo específico (como o nome, identificação do projetista, etc.). Os dados numéricos (potência, tamanho, etc.) são buscados pelos numerais exatos ou então por faixas indicadas por símbolos ( $>$ ,  $<$ ,  $<=$ ,  $>=$ ).

O terceiro banco de dados compreendeu os ábacos de irradiação das cidades brasileiras. Cada capital foi cadastrada como um integrante do banco possuindo apenas dois atributos: a imagem do seu ábaco correspondente e o outro com o valor numérico da irradiação máxima (média diária anual) para a cidade, como apresenta o exemplo da Tabela 20. A listagem com todas as capitais e os ábacos já foi apresentada nas imagens da Figura 34 até a Figura 60.

Tabela 20 – Banco de dados dos ábacos de irradiação

Característica	Atributos
<p data-bbox="244 252 320 279">Capital</p> <p data-bbox="244 400 320 427">Aracaju</p>	<p data-bbox="553 181 748 209">(imagem do ábaco)</p>  <p data-bbox="430 264 829 293">Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Aracaju - SE Irradiação 100% = 5,525 kWh/m²/dia (Radasol)</p> <p data-bbox="561 592 673 603">Desvio azimutal</p> <p data-bbox="561 608 740 635">(preencher) Yield</p>

Após a estruturação dos bancos de dados, foram inserido no software todos os itens de cada banco. Primeiramente os três bancos de dados (BIPVs, módulos e ábacos) foram montados em planilhas de cálculo e posteriormente foram cadastrados no software. O cadastro inicial do banco de dados em uma planilha foi útil para fazer a análise de cada exemplar focando em cada uma das características, para posteriormente ser inserido no software já com todas as características definidas. Este cadastro inicial em planilha também foi útil para uma classificação geral das ocorrências de BIPV, possibilitando observar quais as características mais presentes nas integrações analisadas, o banco de dados dos BIPVs pode ser observado no Apêndice B, e o cadastro dos módulos pode ser visualizado no Apêndice C.

A maior parte das determinações das características das edificações foi marcada como caixa de seleções, já que as integrações analisadas foram enquadradas em características predeterminadas. Nas caixas de seleções foi possibilitado que o cadastro do banco de dados preenchesse com mais de uma opção cada característica questionada, útil no caso de integrações em mais de um local da edificação, ou uso da tecnologia fotovoltaica junto a mais de um material construtivo. A elaboração do cadastro dos módulos foi feita em grande parte com o título da característica e a opção de preenchimento com valor, já que a maioria das características dos módulos se refere às características quantitativas de seu desempenho técnico (potência, corrente, etc.). O cadastro dos ábacos contou com apenas três características: o nome da



capital do estado referente, a imagem do ábaco e o valor de máxima irradiação a ser recebida pelos módulos na referida cidade.

Além das informações dos bancos de dados, foi identificado na pesquisa com arquitetos que a ferramenta também deve apresentar cálculos e valores para auxiliar o projetista na proposta de seu sistema fotovoltaico. Como identificado na pesquisa e selecionado na estrutura da ferramenta, o software deve possibilitar a estimativa do potencial de irradiação a ser recebida na cidade em inclinação e orientação específica, a potência instalada, o potencial de energia a ser gerado, o balanço energético da edificação e o custo do sistema. Estes dados foram definidos como ‘campos’ dentro do software, ou seja, são espaços onde a ferramenta busca um valor relacionado ao elemento escolhido pelo usuário dentro do banco de dados ou necessita que o usuário preencha com o valor de interesse. Os campos foram estruturados na forma de variáveis (a, b, c, d, etc.) para facilitar a programação e vincular aos dados já cadastrados nos bancos de dados. Além de selecionar os dados, a ferramenta também foi projetada para realizar os cálculos propostos, conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Campos de referência, indicação do responsável pelo preenchimento e cálculo realizado.

Etapa	Responsável Pelo preenchimento	Campo ou Variável	Definição
Aba inicial ao observar o ábaco da cidade	Usuário	A	Irradiação média diária a ser recebida pelo módulo na superfície de instalação = digitada pelo usuário (em % predeterminado de 30 a 100% variando a cada 5%)
Aba inicial quando define a cidade	Software	I	Irradiação máxima para a cidade em média diária anual (em kWh)
Após as definições de localização do terreno	Usuário	B	Área disponível para a instalação dos módulos (em m <sup>2</sup> )
Ao selecionar o módulo no banco de dados	Software	C	Potência do módulo (em Wp)
Ao selecionar o módulo no banco de dados	Software	D	Área do módulo calculada pelas variáveis: largura X comprimento (em m <sup>2</sup> )

Após seleção do módulo	Software (podendo ser editado pelo usuário se ele desejar fazer a diagramação dos módulos)	E	Número de módulos = $(B \times 0.8) / D$ só números inteiros (ou o usuário coloca o número exato de módulos que já calculou) <sup>3</sup>
Após seleção do módulo	Software	F	Potência instalada = $(C.E)/1000$ (em kWp)
Pré definido	Software (ou alterado pelo usuário)	G	Rendimento do sistema = 80 %
Após a definição da potência do sistema	Software	H	Estimativa de geração anual = $(G/100) \times F \times A \times I \times 365$
Após a definição da potência do sistema	Software	J	CO <sub>2</sub> evitado = $H \times 0,064$ (em kg de CO <sub>2</sub> evitado) <sup>4</sup>
Pré definido	Software (podendo ser modificado pelo usuário)	L	Custo do Wp instalado <sup>5</sup> (R\$ 7,12 )
Após definir o custo do Wp	Software	M	Estimativa de custo de aquisição = $(F \times L \times 1000)$
Após definir o custo do sistema	Usuário	N	Consumo médio mensal de energia (em kWh) = indicado pelo usuário
Após definir o custo do sistema	Software	O	Balanco energético anual <sup>6</sup> = $H - (N \times 12)$

Após o cadastro dos três bancos de dados e inserção das fórmulas de cálculos, foi iniciada a etapa de interface com o usuário, definindo a

<sup>3</sup> Estimativa da área útil ocupada pelos módulos. Este valor de 80% da área disponível é usual nos projetos de integração desenvolvidos pela UFSC.

<sup>4</sup> Quantidade de CO<sub>2</sub> evitado, em substituição à geração convencional da matriz elétrica brasileira como um todo (EPE, 2012).

<sup>5</sup> Valor indicado para todo o sistema pela ABINEE para sistemas residenciais próximos a 3kWp instalados (ABINEE, 2012).

<sup>6</sup> Conforme Resolução 482/2012 que determina o modo de ligação à rede de mini geradores no Brasil (ANEEL, 2012).

sequência de ações do usuário e também os textos de auxílio ao preenchimento.

Durante a elaboração da interface um item que mereceu atenção especial foi o item de busca pelas edificações similares e módulos fotovoltaicos. A ferramenta de busca foi formulada da mesma maneira que o cadastro das edificações e módulos, ou seja, só é possível buscar pelas características já cadastradas. Em um primeiro momento a ferramenta funcionou na forma de busca cumulativa, ou seja, considerava todos os elementos cadastrados que continham qualquer um dos itens de busca. Assim as buscas retornavam com muitos resultados, buscando exemplares que continham apenas uma das características solicitadas. O modo de busca foi então alterado para buscar por exemplares que contivessem exclusivamente todos os elementos marcados na busca. Desta maneira é possível que muitas buscas retornem sem nenhum resultado, como por exemplo: edificação residencial com integração curva na América. Mesmo assim foi mantida esta maneira de busca já que os usuários podem refazer a busca com novos critérios quantas vezes desejarem.

A interface com o usuário foi estruturada na forma de abas, e em cada uma das abas foi inserido um texto de auxílio ao uso da ferramenta, relacionado com os campos que aparecem naquela aba. Os textos buscam explicar quais as informações que estão sendo apresentadas ou requeridas pela ferramenta, possibilitando que o usuário esteja consciente de todas suas ações no processo, fazendo com que a ferramenta seja realmente útil no auxílio à tomada de decisão. Optou-se por não fazer um tutorial (arquivo de texto, imagem ou vídeo) para que não seja mais um elemento a ser observado pelo usuário enquanto trabalha. Com os textos dispostos junto aos campos da ferramenta o usuário tem na mesma tela todas as informações que necessita. Ao final da elaboração do projeto dentro do software foi criado um campo que possibilita a geração de um relatório contendo todas as informações que foram trabalhadas no software naquele projeto.

Após a finalização do software com o cadastro dos bancos de dados, organização da ferramenta de busca, inclusão das fórmulas de cálculos e textos de orientação, o software foi preparado para a etapa de validação. Esta etapa compreendeu a divulgação do software para alguns arquitetos para que estes pudessem testar o funcionamento do mesmo e contribuir com críticas e sugestões.

#### 4.5. VALIDAÇÃO E TESTE DA FERRAMENTA

Os arquitetos selecionados para o teste foram aqueles que reponderam o questionário inicial da pesquisa indicando que gostariam de continuar participando do projeto (60 pessoas) e também um grupo participante do evento Seminário FATMA-FAPESC, organizado pela ASBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura) sobre a tecnologia fotovoltaica que manifestaram interesse em participar do teste do software (105 pessoas). Para estas pessoas foi divulgado o link de acesso ao software onde foi necessário fazer um cadastro (onde foi gerado um novo usuário para cada arquiteto) e então começar a utilizar o software. Na última aba do software, quando o usuário tinha a opção de salvar o projeto e visualizar o relatório, os arquitetos foram convidados a comentar sobre a utilização do software e se tinham dúvidas, críticas e sugestões. Neste momento foi utilizado o modelo de questionário aberto para verificar a opinião do usuário sem nenhum direcionamento, objetivando obter respostas mais intuitivas e sinceras. Todos os projetos elaborados pelos usuários ficaram salvos em um novo banco de dados do software ao qual somente o administrador possui acesso, assim como todos os comentários sobre o software.

A divulgação do link de acesso ao software foi feita por e-mail. A participação dos usuários nesta fase não foi tratada na forma de uma pesquisa com busca de respostas quantitativas, já que o objetivo foi obter sugestões para modificações. O contato com os usuários neste momento foi principalmente para perceber correções e ajustes no software e assim todos os comentários recebidos foram tratados com relevância para melhoramento do software.

As sugestões recebidas sobre o software foram diversas e podem ser classificadas em dois tipos: sugestões para mudanças na formatação e apresentação do software e, sugestões para mudanças no conteúdo do software.

Em relação à formatação foi sugerido: excluir a repetição da opção de localização; alterar a ordem de opções da busca por edificações, pensando nas etapas do processo projetual; colocar um botão de ‘continuar’ para trocar de aba; algumas fotos aparecem distorcidas; colocar um botão de ‘iniciar projeto’ mais claro na tela inicial do software.

Em relação ao conteúdo, foi sugerido: mudar a aba ‘tipo de módulo’ para uma configuração padrão, deixando todas as opções só para uma ‘busca avançada’ (comentário do usuário: *“a aba "Tipo de módulo fotovoltaico" achei muito avançada para um arquiteto iniciante em fotovoltaico. Seria possível colocar valores default nesta parte para*

*rodar uma simulação padrão?*"); esclarecer que o valor máximo apresentado considera uma média anual; mudar o modo de seleção do módulo de forma a se tornar mais claro, e explicar a eficiência dos módulos em relação à área ocupada.

Observando os questionamentos foram feitas algumas mudanças na formatação do software visando a melhor compreensão do mesmo pelos usuários. Foi excluída a segunda opção de localização da posição de instalação, sendo acrescentado no texto que se o usuário desejar modificar a posição de instalação após visualizar os BIPVs existentes ele pode fazê-lo voltando para a primeira aba. Foi acrescentado um botão ao final de cada aba ('continuar') para orientar a navegação do usuário e também um botão de atalho para 'iniciar projeto' na tela inicial do software. As imagens foram ajustadas para aparecer de forma 'centralizada' e não para 'caber' no espaço reservado a elas. A ordem das características de buscas da edificação foi alterada priorizando as definições arquitetônicas para definição posterior das características dos módulos fotovoltaicos.

Os questionamentos quanto ao conteúdo do site também foram revisados. A principal alteração foi a mudança de seleção dos módulos fotovoltaicos. Além disto, também foram alterados alguns textos para tornar mais claras as ações e as decisões dos usuários.

Para o cálculo simplificado foi criado um módulo base que representa a média de todas as características dos outros módulos. Este módulo não existe na realidade, mas representa as características mais encontradas nos módulos cadastrados pelo INMETRO. O usuário será informado pelo software da inexistência deste exemplo e orientado a utilizar a 'busca avançada' para escolher por um módulo real. As características deste módulo são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Apresentação do módulo base criado para ser utilizado como valor médio nos cálculos do software quando o usuário não quiser selecionar um módulo real.

Foto	Foi utilizada a foto de um módulo de silício multicristalino por esta ser a tecnologia mais presente dentre os módulos
Tecnologia	Silício multicristalino
Potência nominal	205 Wp (arredondamento de 203,14 Wp)
Comprimento	1,65 m (arredondamento de 1,624 m)
Largura	0,90 m (arredondamento de 0,9073 m)
Peso	17,9 kg (arredondamento de 17,85 kg)
Visualização do Substrato	Opaco
Rigidez do substrato	Rígido
Moldura	Com moldura
Cor/tonalidade	Azul
Brilho	Superfície opaca
Eficiência	13,9% (arredondamento de 13,91% e também próximo da relação entre a média da potência e comprimento e largura = 13,8%)

Foi identificado que o módulo mais próximo a estas características médias é o módulo KD205GX-LP da Kyocera, ou seja, a média dos valores dos módulos resulta em um módulo possível, real. Foi optado por continuar utilizando o nome e os valores do módulo base para não fazer propaganda para a referida marca.

Além dos questionamentos dos usuários também foram percebidos alguns detalhes do software que poderiam ser melhorados, considerando pesquisas recentes na área.

Assim foi acrescida uma definição de ‘irradiação avançada’ na primeira aba de cálculos. Ao clicar nesta aba o usuário possui a opção de indicar o valor correto da irradiação para o local que estuda, ao invés de utilizar a radiação estimada do software. Este campo foi pensado para um usuário que possui seus próprios dados de irradiação, utilizando outras cidades ou cálculos mais específicos (como por exemplo, valores do Radasol). O valor a ser informado neste campo deve ser da irradiação a ser recebida pelos módulos já no local e posição correto de instalação. Nesta aba ‘avançada’ também foi colocado um campo de ‘perdas por sombreamento’. Neste campo o usuário deverá inserir o valor percentual de perda de irradiação decorrido por sombreamentos que ocorram sobre os módulos analisados. Este valor de perda poderá ser obtido pelo software PVSyst (PVSYST, 2012) ou também pelo software brasileiro 3DBR(MELO e GRIMONI, 2012) que funciona na

forma de um plugin para o Sketchup (software muito utilizado pelos arquitetos).

Com a criação destes novos dados, alguns campos presentes na Tabela 21 foram alterados. O campo I passou a ter possibilidade de ser alterado pelo usuário (que pode possuir dados mais corretos). Também foi criado o campo ‘P’ que considera as perdas por sombreamento, se previamente calculado pelo usuário. Além do campo H, que teve sua fórmula alterada para contabilizar as perdas de geração decorrentes das perdas por sombreamento. Na Tabela 23 pode-se observar a nova configuração dos campos.

Tabela 23 – Alterações nas fórmulas utilizadas pelo software.

Etapa	Preenchimento	Campo	Variável
Inicial quando define a cidade	Software	I	Irradiação máxima para a cidade em média diária anual (em kWh); podendo ser alterada pelo usuário na aba de ‘Irradiação avançada’
Após a definição da potência do sistema	Software	H	Estimativa de geração anual $= G \times F \times A \times I \times 365 \times ((100-P)/100)$
Na definição de Irradiação avançada	Usuário	P	Perdas de irradiação decorrente de sombreamento (em %). Se não for preenchido o software utilizar o valor zero.

Depois de efetuadas as alterações da fase de validação da ferramenta, o software resultou em uma nova configuração geral. Assim a Figura 32 foi alterada conforme apresentado na Figura 73.

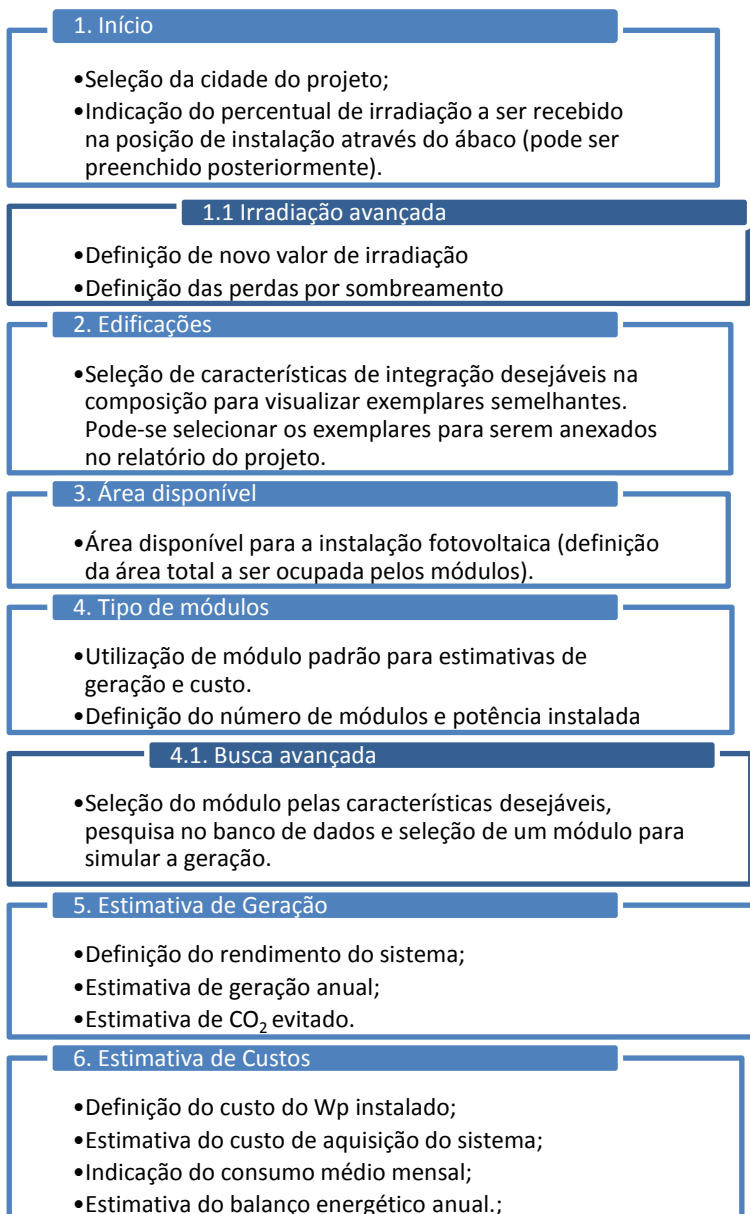


Figura 73 – Configuração final da estrutura de funcionamento da ferramenta

Com a finalização da etapa de validação o software foi novamente disponibilizado na internet e pode ser acessado pelo site:



<http://tecnando.com/bipvdesign/> ou [www.fotovoltica.ufsc.br](http://www.fotovoltica.ufsc.br). A apresentação do software com o exemplo de um projeto pode ser observada no Apêndice E. Pretende-se continuar o trabalho neste software para adequá-lo à realidade do mercado fotovoltaico brasileiro e às necessidades do usuário real. Assim o campo de ‘feedback’ foi mantido no software para continuar possibilitando que o usuário apresente suas sugestões.



## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo e resultado a proposta de uma ferramenta computacional para auxiliar a integração fotovoltaica à arquitetura. No decorrer de seu desenvolvimento algumas constatações puderam ser desenvolvidas, desde a análise das necessidades dos arquitetos, até a validação da ferramenta:

- **A integração fotovoltaica à arquitetura é feita em sua maioria de maneira tradicional, sem explorar as características construtivas dos módulos.** A primeira análise foi sobre os exemplares de integração fotovoltaica existentes no mundo como uma espécie de análise do estado da arte. Observou-se que as integrações fotovoltaicas ainda possuem uma caracterização tradicional, ou seja, a maioria dos módulos é integrada nas coberturas das edificações, mas não fazem parte da composição formal da edificação. No geral percebeu-se que grande parte das integrações arquitetônicas não exploram as características físicas dos módulos como material de revestimento das edificações. A tecnologia mais presente nas edificações analisadas é o silício cristalino, usado em módulos azulados, aplicados sobre parte de uma face existente, principalmente nas coberturas. Uma menor parte das integrações exploram as características construtivas dos módulos e os utilizam como material de vedação ou de revestimento nas fachadas, com substrato transparente, de forma curva, como parte da modulação da edificação ou ainda como elementos de revestimento para diferenciação de um volume da composição. Assim percebe-se que os módulos ainda têm muito a contribuir na integração arquitetônica, trazendo maior aproveitamento arquitetônico além da geração energética. Mas do mesmo modo, as edificações aqui analisadas demonstram que não é necessária uma arquitetura diferente, ou inovadora, para aplicação dos módulos e que eles são perfeitamente integráveis às características e necessidades mais convencionais da arquitetura.
- **Os arquitetos brasileiros ainda não possuem conhecimentos específicos sobre a utilização dos módulos fotovoltaicos como elementos para a arquitetura.** A segunda análise contemplou a aplicação

de questionários a arquitetos brasileiros para identificar qual o conhecimento que eles possuíam sobre a tecnologia fotovoltaica e quais suas necessidades para começar a utilizar a tecnologia. No geral os arquitetos pesquisados possuem conhecimento relativo sobre a tecnologia (sabem que existe, mas desconhecem usos relacionados com a arquitetura), consideram que todos os conteúdos comentados são importantes (forma de instalação, tipos de módulos, custo, detalhes construtivos), assim como todas as características de composição citadas (tamanho relativo à modulação, cor e forma similar, integração nas fachadas ou coberturas, visualização ‘invisível’ e qualidade do projeto arquitetônico). Através destas posições observou-se que os arquitetos pesquisados necessitam de informações gerais sobre todos os aspectos da integração fotovoltaica e que estão abertos a vários modos de integração.

- **Os arquitetos brasileiros demonstram grande preocupação com o desempenho técnico da tecnologia fotovoltaica, sendo este um limitante para a utilização da tecnologia.** Em relação à composição arquitetônica percebeu-se que o item mais citado para julgar as integrações fotovoltaicas foi a preocupação com o desempenho técnico do sistema fotovoltaico, embora tenha sido orientado que eles avaliassem apenas a composição arquitetônica. Nas várias edificações analisadas os arquitetos julgaram que a composição até estaria satisfatória, mas comentaram que não seria um bom exemplo de integração por suporem que aquele posicionamento dos módulos não seria o ideal para atingir o máximo desempenho elétrico/energético dos sistemas. Pelos vários comentários na pesquisa percebeu-se que um dos principais motivos da não utilização dos módulos pelos arquitetos é devido à insegurança deles em relação ao desempenho elétrico/energético da tecnologia e não à dificuldade de integração na composição arquitetônica. Isto demonstra um caminho para a disseminação da tecnologia, que deve buscar por uma maior formação/informação destes profissionais, para que saibam das possibilidades e versatilidades da tecnologia. Este posicionamento dos arquitetos mostra também uma faceta desta profissão, que está preparada

para trabalhar com informações e condicionantes diversos, adaptando o projeto até chegar a uma solução integral que contemple a percepção e satisfação de todos os condicionantes pré-definidos em seu projeto. Deste modo ao deparar-se com um condicionante novo, como a inserção fotovoltaica, a principal preocupação dos arquitetos não é a questão estética, já que esta aparenta estar atrelada em suas ações mesmo que de forma inconsciente (LAWSON, 2005), mas sim uma preocupação com o melhor desempenho técnico da nova tecnologia.

- **É necessário fornecer maiores informações aos arquitetos para que eles possam utilizar a tecnologia fotovoltaica sabendo as implicações de suas decisões em relação à forma x função da integração fotovoltaica.** Então pode não ser suficiente criar módulos com ‘aparências’ diversas apenas tentando convencer os arquitetos pela percepção visual ou mesmo apresentar aos arquitetos exemplares de integrações em edificações projetadas por arquitetos expoentes. Os arquitetos precisam tomar conhecimento do real funcionamento da tecnologia, sabendo quantificar o quanto suas decisões de projeto podem influenciar na geração fotovoltaica. Ao poder medir as alterações na composição e na geração, poderão tomar suas próprias decisões quanto à forma (estética) e a função (desempenho) das edificações com integração fotovoltaica, podendo se posicionar na direção de uma ou outra, desde que estejam conscientes dos resultados que suas ações poderão produzir.
- **Os ábacos podem ser utilizados como uma forma de demonstrar as possibilidades de integração arquitetônica e desempenho elétrico para os arquitetos.** Para compor a ferramenta atendendo aos questionamentos dos arquitetos, foi necessário desenvolver um modo de análise rápida e simplificada do desempenho dos sistemas em relação à sua posição de instalação. Esta parte foi considerada essencial para informar aos arquitetos que existem várias possibilidades de posicionamento dos módulos e que isto decorre em perdas, maiores ou menores, da geração elétrica. Esta análise foi proposta na forma de ábacos, para todas as

capitais brasileiras, que salientam o compromisso entre a forma (compromisso forma arquitetônica) e função (desempenho elétrico) dos geradores fotovoltaicos. Os ábacos demonstram informações sobre a quantidade de radiação incidente em uma face variando sua inclinação e orientação. Na elaboração destes gráficos foram percebidas algumas características comuns na irradiação disponível nas cidades brasileiras. Na análise dos modelos de irradiação difusa foi observado que os modelos de Perez e Klucher estão mais próximos da distribuição da irradiação solar no país medidos pelo projeto SWERA. As cidades mais no Norte apresentam melhor aderência ao modelo de Perez, enquanto as cidades ao Sul apresentam maior aderência com o modelo de Klucher (considerando uma divisão entre Norte e Sul em torno da latitude de  $18^\circ$ ). As diferenças entre os quatro modelos consagrados na literatura solar, no entanto, são poucas.

- **Os ábacos demonstraram que na região Norte do país há maior possibilidade de integrações com diferentes posicionamentos dos módulos (maior tolerância a desvios azimutais); já no Sul as posições com maior irradiação são mais restritas.** A elaboração dos gráficos também mostrou que nos estados mais ao Sul do país os maiores níveis de irradiação só ocorrem em posicionamentos bem próximos do ideal, com inclinação similar à latitude e orientação Norte. Como observado nos ábacos, existe menor tolerância a variações em azimute e inclinação, sugerindo ao projetista que escolha a posição dos módulos priorizando ou a orientação ou a inclinação dos mesmos. Nos estados mais ao Norte as possibilidades de integração na cobertura com bom recebimento de irradiação são maiores; nestes locais é possível utilizar qualquer posição de azimute, desde que seja mantida uma inclinação de até  $15^\circ$  e haja também prevalência da orientação a Leste e Oeste (em detrimento do Norte) quando a instalação for vertical. Quanto às características específicas das cidades com relação à integração fotovoltaica em fachadas, Manaus aparece como a cidade com maior potencial solar, seguida por Belém, Boa vista, Fortaleza, João Pessoa, Macapá, Maceió, Porto Velho, Recife, Rio Branco e São Luiz. As

idades com menor potencial para fachadas solares são Campo Grande, Goiás e Belo Horizonte. Em relação à diversidade de possibilidades para instalação obtendo os máximos níveis de geração, Belém, Fortaleza, Macapá, Manaus, Natal, Recife e São Luiz apresentam os maiores níveis de irradiação para qualquer orientação com inclinação até cerca de  $23^\circ$ . As cidades que apresentam menos opções de posicionamento foram Porto Alegre e Florianópolis, seguidas por Curitiba e Belo Horizonte. A partir destas características o projetista pode avaliar qual a melhor integração fotovoltaica para seu projeto, ou ainda, se possível, a melhor localização geográfica para seu investimento (por exemplo, grandes empresas que possuem filiais em diversos estados). Os ábacos também facilitam a decisão do projetista ao trabalhar com a forma da edificação e a função dos módulos, possibilitando uma comparação rápida e bastante confiável, demonstrada pela validação dos valores dos ábacos a partir de sistemas reais aqui apresentados.

- **A análise dos módulos cadastrados pelo INMETRO mostrou algumas semelhanças entre as características físicas dos módulos, sendo possível ‘criar’ um módulos padrão para cálculos iniciais no software.** Para compor a ferramenta também foi feita uma análise dos módulos fotovoltaicos cadastrados pelo INMETRO no Brasil. Esta análise mostrou que há uma similaridade entre as características físicas dos módulos, o que pode facilitar a utilização dos mesmos pelos arquitetos. Assim foi definido um módulo base, que contém as características médias dos módulos analisados (cor, tamanho, potência, eficiência, peso), para ser utilizado como cálculo inicial na ferramenta. A utilização deste módulo base visa fornecer um ponto de partida para as definições arquitetônicas. Através software também é possível consultar informações de módulos existentes e utilizá-los para os cálculos de dimensionamento.
- **A ferramenta foi elaborada na forma de um software que utiliza abas para auxiliar nas definições do projeto de integração fotovoltaica à arquitetura.** A terceira etapa do trabalho consistiu na elaboração do escopo de funcionamento do software. De acordo com a análise dos softwares existentes sobre a tecnologia e de

acordo com as necessidades apontadas pelos arquitetos pesquisados, o escopo foi montado como um software com vários passos indo do geral ao mais específico, solicitando e fornecendo dados ao usuário. O início da ferramenta foi feito pela localização do sistema fotovoltaico e as possibilidades de geração conforme a orientação e localização, seguindo pela apresentação de exemplares de BIPVs, seleção do módulo fotovoltaico e finalizando com as estimativas de geração e custo do sistema. No geral a ferramenta foi trabalhada com abas contendo a explicação do porquê e como fazer cada ação e indicando a interferência disto no projeto arquitetônico. Em relação à parte elétrica/energética do sistema o software foi projetado para fornecer apenas estimativas básicas já que existem outros softwares relacionados a isto.

- **Durante o processo de elaboração da ferramenta foi intensa a participação pesquisador deste trabalho para que este tivesse maior autonomia sobre as decisões e futuras alterações do software (principalmente relacionadas aos bancos de dados).** A última parte deste trabalho compreendeu a elaboração e validação do software. A elaboração foi feita por um programador de sistemas com orientação e supervisão do pesquisador. O software foi elaborado com base em três bancos e uma interface com o usuário. O programador foi responsável pela formulação e implementação do software em si, mas a parte de inserção de conteúdos dos bancos de dados foram definidos e preenchidos pelo pesquisador, o que possibilitou maior controle durante o processo de elaboração do software. Posteriormente à elaboração foi feita a validação do mesmo por usuários arquitetos. Esta validação mostrou algumas alterações que seriam necessárias para maior clareza do software. Após a validação, o software foi finalizado e disponibilizado para utilização, mantendo-se um espaço para sugestões pelos usuários e possibilitando futuras alterações.
- **O processo de elaboração de uma ferramenta necessita de estreita relação entre o programador, o autor e o usuário, para que sejam supridas as demandas e garantido o seu entendimento.** Durante



este processo percebeu-se que para a elaboração de um software é necessário uma pesquisa aprofundada sobre as necessidades dos futuros usuários e também sobre o tema em questão. Percebeu-se também que para a execução do software é importante uma estreita relação entre o programador e o cliente, isto para que haja clareza entre a troca de informações e garanta-se que os objetivos sejam atingidos. A validação do software também foi essencial para garantir o entendimento do mesmo pelos usuários, para que o software atinja seu objetivo principal que é auxiliar nas decisões de projeto de sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura.

- **Com este trabalho foi possível compreender a situação atual dos exemplares de integração fotovoltaica à arquitetura e também dos arquitetos brasileiros e sua relação com a energia solar fotovoltaica, produzindo como resultado um software para auxílio à integração fotovoltaica na arquitetura.** Percebeu-se que a integração fotovoltaica ainda é um campo que tem muito a crescer, principalmente em relação à integração que considere os módulos fotovoltaicos como elementos construtivos. Em relação aos arquitetos brasileiros pesquisados, observou-se que eles estão abertos à utilização da tecnologia, mas necessitam de maiores conhecimentos técnicos para que comecem a utilizá-la em seus projetos. Assim espera-se que o software desenvolvido neste trabalho contribua para a maior utilização da tecnologia fotovoltaica integrada à arquitetura com compromisso com a geração energética e com a composição arquitetônica.

## 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do trabalho apresentado observaram-se alguns aspectos que poderiam originar novos trabalhos, aprofundando os conhecimentos ou dando continuidade aos trabalhos aqui apresentados.

Como sugestão, indicam-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Levantamento e análise arquitetônica de todos BIPVs existentes no Brasil (e seus projetistas) para observar as características destas integrações e também a posição do arquiteto projetista sobre suas facilidades e dificuldades durante o processo;
- Elaboração dos ábacos de irradiação para outras cidades brasileiras e validação dos dados para outras localizações e posições mais extremas dos ábacos;
- Pesquisar sobre o processo mental que os arquitetos utilizam ao inserir a utilização de sistemas fotovoltaicos em seus projetos, para identificar maneiras de tornar a ferramenta uma metodologia mais simples e útil aos arquitetos.
- Inclusão na ferramenta de mais informações sobre os módulos fotovoltaicos; identificar materiais específicos para BIPVs; incluir custos de cada módulo; incluir maior diversidade de módulos.
- Continuidade e aprofundamento do software, em relação a sombreamento e dimensionamento do sistema; pesquisar um modo de integração do software com softwares de modelagem como o Sketchup (TRIMBLE, 2012) e o AutoCAD (AUTODESK, 2009);

## 6. PUBLICAÇÕES NO AMBITO DESTE TRABALHO

### 6.1. PUBLICAÇÕES EM PERIÓDICOS

SANTOS, I; RÜTHER, R. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. *Energy and Buildings*, V. 50, p. 290-297, 2012.

### 6.2. TRABALHOS COMPLETOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS

SANTOS, I. P. ; RUTHER, R ; NASCIMENTO, L. R. ; Pereira Junior, L. C. . Ábacos para análise simplificada de orientação e inclinação de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar - IV CBENS e V Conferência Latino Americana da International Solar Energy Society - ISES, 2012, São Paulo - SP. Anais do IV Congresso Brasileiro de Energia Solar - IV CBENS e V Conferência Latino Americana da International Solar Energy Society - ISES. São Paulo - SP: ABENS - Associação Brasileira de Energia Solar, 2012. v. 1. p. 1-8.

SANTOS, I; RUTHER, R. ; ZOMER, C. D. ; BRAUN, P. ; A. Montenegro ; NASCIMENTO, L. . Estádios solares: potencial de aplicação da energia solar fotovoltaica nos estádios da copa 2014. In: III Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2010, Belém - PA. Anais do III Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2010.

SANTOS, I; RUTHER, R.; C. Palermo . Redução da conta de energia nas habitações de interesse social a partir da utilização de energia solar térmica e fotovoltaica. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal, RN. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009.

SANTOS, I; C. Palermo ; RUTHER, R. . Avaliação das características das coberturas das residências unifamiliares para o aproveitamento da energia solar. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal, RN. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009.

### 6.3. RESUMOS EXPANDIDOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS

GEHM, H.J., SANTOS, I.P., HARTMANN, F.A., CASSAL, M.L. Caracterização das integrações arquitetônicas de sistemas fotovoltaicos. In. 27<sup>a</sup> Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, 2012, Santa Maria – RS. Anais da 27<sup>a</sup> Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, 2012, Santa Maria – RS.

PALMA, L., SANTOS, I.P., BONALDO S.A., NOGUEIRA, C.U., NOGUEIRA, H.C.M. iluminação paisagística com energia solar fotovoltaica. In. 25<sup>a</sup> Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, 2010, Santa Maria – RS. Anais da 25<sup>a</sup> Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, 2012, Santa Maria – RS.

## REFERÊNCIAS

- ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012
- ABNT. **NBR 13532**: Elaboração de projeto de edificações - Arquitetura. 1995.
- AGNALDO, J. S.; BASTOS, J. B. V.; CRESSONI, J. C.; VISWANATHAN, G. M. Células solares de TiO<sub>2</sub> sensibilizado por corante. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [S.I.], v. 28, 2006.
- ANEEL. **482**: RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482. Brasil, 2012.
- AUTODESK. **AutoCAD 2010**. 2009.
- \_\_\_\_\_. **Autodesk Ecotect Analysis**. Autodesk. Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12602821&siteID=123112>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. **Administração: construindo vantagem competitiva**. Tradução de RIMOLI, C. A. São Paulo: Atlas, 1998.
- BATTAGLINI, A.; LILLIESTAM, J.; HAAS, A.; PATT, A. Development of SuperSmart Grids for a more efficient utilisation of electricity from renewable sources. **Journal of Cleaner Production** [S.I.], v. 17, n. 10, p. 911-918, 2009.
- BERINGER, S.; SCHILKE, H.; LOHSE, I.; SECKMEYER, G. Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant. **Solar Energy** [S.I.], v. 85, n. 3, p. 470-476, 2011.
- BRAUN, P. G. **A Integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. (2010). (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2010.
- BROGREN, M.; GREEN, A. Hammarby Sjöstad-an interdisciplinary case study of the integration of photovoltaics in a new ecologically

sustainable residential area in Stockholm. **Solar Energy Materials and Solar Cells** [S.I.], v. 75, n. 3-4, p. 761-765, 2003.

BROWN, J.; HENDRY, C. Public demonstration projects and field trials: Accelerating commercialisation of sustainable technology in solar photovoltaics **Energy Policy** [S.I.], v. 37, n. 7, 2009.

BURGER, B.; RÜTHER, R. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature. **Solar Energy** [S.I.], v. 80, n. 1, p. 32-45, 2006.

CARTANA, R. P. **Oportunidades e limitações para bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico**. (2006). (Mestrado) - Pós Graduação em Arquitetura, UFSC, Florianópolis, 2006.

CHAGAS, A. T. R. O questionário na pesquisa científica. **Administração On Line** [S.I.], v. 1, n. 1, 2000.

CHIABRANDO, R.; FABRIZIO, E.; GARNERO, G. The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** [S.I.], v. 13, n. 9, p. 2441-2451, 2009.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Tradução de SALVATERRA, A. Porto Alegre: Bookman, 2010.

COLLARES-PEREIRA, M.; RABL, A. The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. **Solar Energy** [S.I.], v. 22, n. 2, p. 155-164, 1979.

CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes - Making the case for Brazil. **Energy and Buildings** [S.I.], v. 55, n. 0, p. 264-272, 2012.

DISCH, R. **Rolf Disch SolarArchitektur**. Freiburg. Disponível em: <<http://www.rolfdisch.de/index.php?p=home&pid=276&L=1&host=2>>. Acesso em: 2011.

DYESOL. **Dyesol products**. Disponível em: <<http://www.dyesol.com/page/Home>>. Acesso em: 2011.

ELTAWIL, M. A.; ZHAO, Z. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems--A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** [S.I.], v. 14, n. 1, p. 112-129, 2010.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 2012.

FREIXO, M. J. V. **Metodologia científica**. Lisboa: Instituto Piaget, 2009.

FV-UFSC. **Fotovoltaica UFSC**. Florianópolis: UFSC. Disponível em: <<http://www.fotovoltaica.ufsc.br/>>. Acesso em: 2013.

GELLER, H. S. **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: USAid, 2003.

GLANCEY, J. **Eyewitness Companions: Architecture**. Tradução de KINDERSLEY, D. Buenos Aires, 2006.

GOLDEN. **SURFER**. Golden, 1994.

GREEN, M. A. Recent developments in photovoltaics. **Solar Energy** [S.I.], v. 76, n. 1-3, p. 3-8, 2004.

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; DUNLOP, E. D. Solar cell efficiency tables (version 39). **Progress in photovoltaics: Research and applications** [S.I.], v. 20, n. 1, p. 12-20, 2012.

GÜNTHER, H. Como elaborar um questionário. *Série: Planejamento de pesquisa nas ciências sociais*. v. 01. Brasília: UNB, 2003.

HAGEMANN, I. Examples of Successful Architectural Integration of PV: Germany. **Progress in Photovoltaic: Research and applications** [S.I.], v. 12, 2004.

HAY, J. E.; MCKAY, D. C. Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies. **International Journal of Solar Energy** [S.I.], v. 3, n. 4-5, p. 203-240, 1985.

HESTNES, A. G. Building Integration Of Solar Energy Systems. **Solar Energy** [S.I.], v. 67, n. 4-6, p. 181-187, 1999.

HONGXING, Y.; LIN, L. The Optimum Tilt Angles and Orientations of PV Claddings for Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Applications. **Journal of Solar Energy Engineering** [S.I.], v. 129, n. 2, p. 253-255, 2007.

HUMMON, M.; DENHOLM, P.; MARGOLIS, R. Impact of photovoltaic orientation on its relative economic value in wholesale energy markets. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications** [S.I.], 2012.

HUSSEIN, H. M. S.; AHMAD, G. E.; EL-GHETANY, H. H. Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angles and orientations. **Energy Conversion and Management** [S.I.], v. 45, n. 15-16, p. 2441-2452, 2004.

IEA. **Photovoltaic in buildings: A design handbook for architects and engineers**. International Energy Agency. Paris. 1995

\_\_\_\_\_. **PVPS annual report 2009**. International energy agency. Fribourg. 2010

\_\_\_\_\_. **PV database**. Disponível em: <<http://www.pvdatabase.org/>>. Acesso em: 05 jan 2011.



INMETRO. **Programa Brasileiro de etiquetagem**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/modulos.pdf>>. Acesso em: 13 de ago. de 2012.

INTERLOGY. **JotForm**. Disponível em: <<http://www.jotform.com/>>. Acesso em: 2012.

ISAAC. **Building integrated Photovoltaic**. Lugano: Institute of Sustainability applied to the Built Environment. Disponível em: <<http://www.bipv.ch/>>. Acesso em: 2011.

JARDIM, C. D. S. **A inserção no contexto brasileiro de sistemas solares fotovoltaicos interligados à rede elétrica, quando analisados através do fator efetivo de capacidade de carga (FECC), enfocando a redução do pico de demanda diurno em centros urbanos**. (2007). (Doutorado) - PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2007.

JARDIM, C. D. S.; RÜTHER, R.; SALAMONI, I. T.; VIANA, T. D. S.; REBECHI, S. H.; KNOB, P. J. The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. **Energy and Buildings** [S.I.], v. 40, n. 3, p. 365-370, 2008.

KAAN, H.; REIJENGA, T. Photovoltaics in an architectural context. **Progress in photovoltaics: Research and applications** [S.I.], v. 12, p. 395-408, 2004.

KAPLOWITZ, M. D.; HADLOCK, T. D.; LEVINE, R. A Comparison of Web and Mail Survey Response Rates. **Public Opinion Quarterly** [S.I.], v. 68, n. 1, p. 94-101, 2004.

KEN, Y.; PETER, D. Chapter 16 - Ecodesign and the Transition of the Built Environment **Urban Energy Transition**. Amsterdam: Elsevier, 2008. p. 381-385.

KLUCHER, T. M. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces. **Solar Energy** [S.I.], v. 23, n. 2, p. 111-114, 1979.

KONARKA. **Power Plastic.** Disponível em:<<http://www.konarka.com/index.php/power-plastic/material-characteristics/>>. Acesso em: 2011.

KREUTZMANN, A.; SIEMER, J. Smooth sailing : market survey on solar modules 2010. *Photon International*. 2010.

LAWSON, B. **How designers think: the design process desmythified.** 40. ed. Burlington: Elsevier, 2005.

LENARDIC, D. **PV RESOURCES.** Disponível em:<<http://www.pvresources.com/en/pages.php>>. Acesso em: 2009.

LÜDKE, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. D. **Noções de Probabilidade e Estatística.** São Paulo: Edusp, 2009.

MAKRIDES, G.; ZINSSER, B.; NORTON, M.; GEORGHIOU, G. E.; SCHUBERT, M.; WERNER, J. H. Potential of photovoltaic systems in countries with high solar irradiation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** [S.I.], v. 14, n. 2, p. 754-762, 2010.

MARSH, G. BIPV: innovation puts spotlight on solar. **Renewable Energy Focus** [S.I.], v. 9, n. 3, p. 62-67, 2008.

MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à administração.** São Paulo: Atlas, 2009.

MELO, E. G. D.; GRIMONI, J. A. B. Energia solar fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelo tridimensional. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino Americana da ISES, São Paulo. ABENS, 2012.

MELVIN, J. **...isms - Understanding Architectural Styles.** New York: Universe, 2008.

MILANI, A. **MySQL - Guia do Programador.** Novatec, 2007.

\_\_\_\_\_. **Construindo Aplicação Web com PHP e MySQL**. Novatec, 2010.

MILLAR, M. M.; DILLMAN, D. A. Improving Response to Web and Mixed-Mode Surveys. **Public Opinion Quarterly** [S.I.], v. 75, n. 2, p. 249-269, 2011.

MITCHELL, W. J. **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Tradução de CELANI, G. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

MONDOL, J. D.; YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. Optimising the economic viability of grid-connected photovoltaic systems. **Applied Energy** [S.I.], v. 86, n. 7-8, p. 985-999, 2009.

MUNARI PROBST, M.; ROECKER, C. Towards an improved architectural quality of building integrated solar thermal systems (BIST). **Solar Energy** [S.I.], v. 81, n. 9, p. 1104-1116, 2007.

NAIR, N.-K. C.; ZHANG, L. SmartGrid: Future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation. **Energy Policy** [S.I.], v. 37, n. 9, p. 3418-3427, 2009.

NGUYEN, T.-V.; LEE, H.-C.; ALAM KHAN, M.; YANG, O. B. Electrodeposition of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> nanocomposite for dye-sensitized solar cell. **Solar Energy** [S.I.], v. 81, n. 4, p. 529-534, 2007.

NIEDERAUER, J. **Desenvolvendo Websites com PHP**. 2<sup>a</sup>. ed.: Novatec, 2011.

NOORIAN, A. M.; MORADI, I.; KAMALI, G. A. Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces. **Renewable Energy** [S.I.], v. 33, n. 6, p. 1406-1412, 2008.

PAGLIARO, M.; CIRIMINNA, R.; PALMISANO, G. BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry. **Progress in photovoltaics: Research and applications** [S.I.], v. 18, n. 1, p. 61-72, 2010.

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate.** (2003). (Doctor of Philosophy) - Department of Architecture, The University of Queensland, Queensland, 2003.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos, Brazil: INPE, 2006.

PEREZ, R.; SEALS, R.; INEICHEN, P.; STEWART, R.; MENICUCCI, D. A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. **Solar Energy** [S.I.], v. 39, n. 3, p. 221-231, 1987.

PILONE, D.; MILES, R. **Use a Cabeça: Desenvolvimento de Software.** Tradução de SANTOS, A. J. C. E. M. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008.

PINTO-FILHO, G. F.; MACÊDO, W. N.; PINHO, J. T. Aprimoramento de ferramenta computacional para análise e projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino Americana da ISES, São Paulo. ABENS, 2012.

PRASAD, D. K.; SNOW, M. Examples of Successful Architectural Integration of PV: Australia. **Progress in Photovoltaic: Research and applications** [S.I.], v. 12, 2004.

PVSYST. **PVsystem: Study of Photovoltaic Systems.** 2012.

REIJENGA, T. What do architects need? In: IEA PVPS Task VII Workshop, Suíça. IEA, 2000.

REN21. **Renewables 2012 Global Status Report.** Paris. 2012

ROGNER, H. Energy Resources. **World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability.** [S.I.], 2000.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e**

**interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

RÜTHER, R.; KNOB, P. J.; DA SILVA JARDIM, C.; REBECHI, S. H. Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. **Energy Conversion and Management** [S.I.], v. 49, n. 5, p. 1074-1079, 2008.

RUTHER, R.; JR., J. U.; VIANA, T.; NASCIMENTO, L. R.; PFITSCHER, P. Performance assessment of a microcrystalline Si PV installation in a warm climate. In: 35th IEEE Conference, Honolulu - HI, EUA. 2010.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte.** (2004). (Mestrado) - PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2004.

SAMPAIO, J. C. S.; LIMA, M. M. X. D.; NETO, J. D. P. B. A utilização de ferramentas de apoio à tomada de decisão no processo de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos** [S.I.], v. 5, 2010.

SANTOS, I. P. D. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista.** (2009). (Mestrado) - PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2009.

SANTOS, Í. P. D.; RÜTHER, R. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. **Energy and Buildings** [S.I.], v. 50, n. 0, p. 290-297, 2012.

SCHOEN, T.; PRASAD, D.; RUOSS, D.; EIFFERT, P.; SØRENSEN, H. Task 7 of the IEA PV power systems program - achievements and outlook. In: 17th European Photovoltaic Solar Conference Munich. 2001.

SDA. **Solar Design Associates.** Disponível em:<[http://www.solardesign.com/index\\_2.php](http://www.solardesign.com/index_2.php)>. Acesso em: 2011.

SMA. **Sunny Design**. SMA Solar Technology AG, 2012.

SWERA. **Solar and Wind Energy Resource Assessment Programme**. UNEP. Disponível em: <<http://swera.unep.net/>>. Acesso em: 2011.

THOMAS, R. **Photovoltaic in buildings: a design guide**. ETSU. Londres. 1999

TRIMBLE. **SketchUp Pro**. 2012.

UFRGS. **Radiasol**. Laboratório de Energia Solar - GESTE-PROMEC. Porto Alegre, 2001.

\_\_\_\_\_. **Softwares**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 2010.

URBANETZ, J.; ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites. **Building and Environment** [S.I.], v. 46, n. 10, p. 2107-2113, 2011.

VANNINI, V. C. **Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios : um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect**. (2011). (Doutorado) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

WINCOSIN. **A TRaNsient SYstems Simulation program**. The Board of Regents of the University of Wisconsin System. Disponível em: <<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm>>. Acesso em: 2010.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. D. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

## APÊNDICE A – Questionário aplicado aos arquitetos

Esta entrevista é parte de uma tese de doutorado do PPGEC-UFSC.

Responda à mesma expressando a sua opinião sobre o uso da energia solar fotovoltaica na arquitetura.

Obrigada pela sua contribuição.

**1 - Qual o seu contato com o uso da energia solar fotovoltaica?**

Marque a opção que melhor o represente. \*

- Próximo. Cursos e aperfeiçoamentos sobre a utilização da mesma.
- Relativo. Conhecimento sobre este tipo de geração alternativa, mas desconheço usos específicos para a arquitetura.
- Distante. Posso pouco conhecimento sobre as possibilidades desta tecnologia. Conheço somente os coletores solares para aquecimento de água.
- Nenhum. Não possuo contato com esta tecnologia.

**Breve comentário sobre a utilização da tecnologia solar fotovoltaica junto à arquitetura:**

A utilização da energia solar pode ser feita de duas formas: a tecnologia fotovoltaica que gera energia elétrica; e os coletores solares comumente utilizados fazem o aquecimento de água para banho, piscinas ou outros usos.

Os Edifícios Solares Fotovoltaicos integram à sua fachada e/ou cobertura módulos solares que geram, de forma descentralizada e junto ao ponto de consumo, energia elétrica pela conversão direta da luz do sol. Estes equipamentos servem também como material de revestimento destas fachadas e coberturas.

Sistemas deste tipo injetam na rede elétrica pública qualquer excedente de energia gerado e, por outro lado, utilizam a rede elétrica como backup quando a quantidade de energia gerada não é suficiente para atender a instalação consumidora e também durante a noite.

**2 - Na sua opinião, qual a importância dos seguintes conhecimentos para a maior utilização e disseminação da tecnologia solar fotovoltaica?**

Classifique segundo a importância, 5 (mais importante) até 1 (menos importante). \*

Funcionamento técnico (quantidade de energia gerada e instalação)

Tipos de módulos existentes para uso na arquitetura (variedade de tamanhos, formas e cores)

Possibilidade de integração arquitetônica (integração em coberturas, fachadas, superfícies curvas e substituição a outros materiais como vidros e telhas)

Detalhes construtivos da instalação (fixação, isolamento)

Custo (preço de aquisição e economia financeira pela geração)

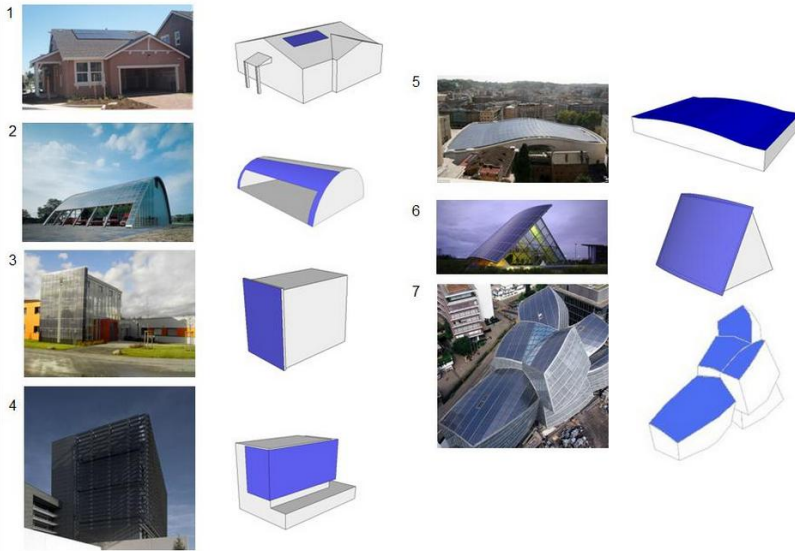
Considera que outras informações também seriam importantes? Comente-as.

**3 - Em qual etapa do processo projetual arquitetônico você considera essencial a utilização dos conhecimentos anteriormente citados?**

Selecione uma das opções: \*

- Levantamento de dados
- Programa de Necessidades
- Anteprojeto
- Projeto Executivo

4 - Observe as seguintes integrações fotovoltaicas à arquitetura (com os referentes croquis indicando em azul o local de instalação dos módulos fotovoltaicos) e indique quais as características que mais contribuíram na composição arquitetônica:



Analisando todas as imagens, indique se as características que os módulos apresentaram nas integrações, depreciaram, se foram indiferentes ou se contribuíram à qualidade da composição arquitetônica. \*

	Depreciou	Indiferente	Contribuiu
Tamanho dos módulos respeitando a modulação da edificação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cor e forma similar aos outros materiais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Utilização dos módulos somente em parte de um planos da edificação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integração dos módulos fotovoltaicos de modo que não haja percepção da integração fotovoltaica na composição	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Valorização dos módulos como elemento de geração de energia e/ou utilização como elemento diferencial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integração na fachada da edificação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integração na cobertura da edificação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Projeto arquitetônico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Qual das integrações acima você considera como a melhor composição arquitetônica da integração fotovoltaica? A seguir comente sobre cada edificação em separado. \*

Identifique na Edificação 1 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

Identifique na Edificação 2 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*



Identifique na Edificação 3 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

Identifique na Edificação 4 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

Identifique na Edificação 5 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

Identifique na Edificação 6 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

Identifique na Edificação 7 as características que depreciaram ou contribuíram com a composição da integração fotovoltaica: \*

5- Qual a sua formação profissional?

Selecione:

- Estudante de Arquitetura e Urbanismo  
 Arquiteto e Urbanista  
 Estudante de pós graduação  
 Docente em Arquitetura e Urbanismo

Se você não for arquiteto, indique sua formação profissional:

Se desejar receber gratuitamente o livro Edifícios Fotovoltaicos, preencha com o seu endereço.

Endereço

Linha 2 do Endereço



Cidade

Estado / Província



Código postal / CEP

País

Dúvidas, sugestões e observações sobre a pesquisa? (com e-mail se desejar retorno)



## APÊNDICE B – Listagem de caracterização dos BIPVs

Para facilitar a visualização das características na tabela com todos os BIPVs analisados foi organizada por cores conforme a legenda abaixo. Assim cada integração terá suas cores correspondentes às características sinalizadas.

Nome	Projetista	Fonte	Localização	Uso da edificação	Tipo da integração	Característica arquitetônica	Visualização da integração	Local da integração	Face da integração	Vedação da superfície	Substrato do módulo	Moldura do módulo	Tecnologia do módulo	Materiais
		www.bipv.ch	Europa	Serviços	Nova edificação (BIPV)	Ed. convencionais	Integração visível ocupando toda face	Fachada	Plana	Translúcida / Transparente	Flexível	Sem moldura	Policristalino / Multicristalino	Metal
		www.pydatabase.org	América	Institucional	Integração em retrofit	Ed. histórica	Integração visível ocupando parte de uma face	Brises e outros elementos					Monocristalino	Alvenaria
		www.fotovoltaica.ufsc.br	Ásia	Industrial	Integração aplicada à edificação	Arquitetos expoentes	Integração invisível ou não visualizada das fachadas	Cobertura	Curva	Opaca	Rígido	Com moldura	Silício amorfo / Silício	vidro
			Oceania	Residencial				Cobertura / Fachada inclinada					HIT	ceramica
			África	Comercial				Mais de um local	Outros	Madeira				
									Mais de uma tecnologia					











































### APÊNDICE C – Listagem de caracterização dos módulos fotovoltaicos

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
AVP48-190	AVPROJECT	silício multicristalino	190	1,336	0,992	16	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
AVP60-235	AVPROJECT	silício multicristalino	235	1,644	0,992	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
AVP60-240	AVPROJECT	silício multicristalino	240	1,644	0,992	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,7%
AVP72-285	AVPROJECT	silício multicristalino	285	1,966	0,997	26	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,5%
AVP72-290	AVPROJECT	silício multicristalino	290	1,966	0,997	26	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,8%
AVP48M-195	AVPROJECT	silício monocristalino	195	1,336	0,992	16	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
AVP60M-245	AVPROJECT	silício monocristalino	245	1,644	0,992	21	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%
AVP60M-250	AVPROJECT	silício monocristalino	250	1,644	0,992	21	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,3%
AVP72M-295	AVPROJECT	silício monocristalino	295	1,966	0,997	26	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,1%
AVP72M-300	AVPROJECT	silício monocristalino	300	1,966	0,997	26	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,3%
AP 240	Advanced Solar Photonics	silício monocristalino	240	1,65	0,992	18,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
BYD 140 P6-18	BYD Energy	silício multicristalino	140	1,482	0,676	13	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
BYD 240 P6-30	BYD Energy	silício multicristalino	240	1,64	0,992	19,6	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,8%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
M225 3BB	Bosch	silício monocristalino	225	1,6595	0,988	22	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,7%
M235 3BB	Bosch	silício monocristalino	235	1,66	0,99	21	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,3%
M240 3BB	Bosch	silício monocristalino	240	1,66	0,99	21	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,6%
SSM 175	Conergy	silício monocristalino	175	1,58	0,808	15,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,7%
SSP 180	CEMI	silício multicristalino	180	1,335	0,94	15,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
SSP 230	Cemi	silício multicristalino	230	1,65	0,98	22,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,2%
TN-36-5M90	TNS Solar	silício monocristalino	90	1,196	0,542	7,8	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,9%
TN-60-6M240	TNS Solar	silício monocristalino	240	1,64	0,992	23,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,8%
TN-60-6P230	TNS Solar	silício monocristalino	230	1,64	0,992	23,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,1%
TN-72-5M190	TNS Solar	silício monocristalino	190	1,58	0,808	15,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,9%
CNPV 245	DONAUER	silício monocristalino	245	1,65	0,992	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%



Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
CNPV 295	DONAUER	silício monocristalino	295	1,965	0,992	24	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,1%
TPB156x156x60-P	Sun Earth	silício multicristalino	235	1,642	0,992	20	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
YZM230M-60	W.SOLAR	silício multicristalino	230	1,65	0,992	19,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
CSUN 50M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	50	0,665	0,535	5,1	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,1%
CSUN 60M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	60	0,676	0,651	6	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,6%
CSUN75M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	60	0,765	0,509	6,8	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,4%
CSUN100M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	100	0,995	0,665	8,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,1%
CSUN150M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	150	1,48	0,67	12,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,1%
CSUN220M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	220	1,48	0,99	17,8	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%
CSUN290M	EXXA SOLAR	silício monocristalino	290	1,956	0,99	23,8	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%
CSUN135P	EXXA SOLAR	silício multicristalino	135	1,48	0,67	13	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,6%
PLUTO 245-WDE	SUNTECH	silício multicristalino	245	1,665	0,991	19,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,8%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
JMK185M-72	JINKO	silício monocristalino	185	1,58	0,808	14,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,5%
JMK190M-72	JINKO	silício monocristalino	190	1,58	0,808	14,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,9%
JMK195M-72	JINKO	silício monocristalino	195	1,58	0,808	14,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,3%
JMK250M-96	JINKO	silício monocristalino	250	1,575	1,082	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
JMK255M-96	JINKO	silício monocristalino	255	1,575	1,082	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%
JMK260M-96	JINKO	silício monocristalino	260	1,575	1,082	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,3%
JMK235M-60	JINKO	silício monocristalino	235	1,65	0,992	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,4%
JMK240M-60	JINKO	silício monocristalino	240	1,65	0,992	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
JMK275P-72	JINKO	silício multicristalino	275	1,956	0,992	23	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,2%
JMK225P-60	JINKO	silício multicristalino	225	1,65	0,992	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,7%
JMK230P-60	JINKO	silício multicristalino	230	1,65	0,992	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
JMK235P-60	JINKO	silício multicristalino	235	1,65	0,992	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
JMK280P-72	JINKO	silício multicristalino	280	1,956	0,99 2	27	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
KC 130 TM	Kyocera	silício multicristalino	130	1,425	0,65 2	11,9	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
KD205GX-LP	Kyocera	silício multicristalino	205	1,5	0,99	18,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,8%
KD 140SX-UPU	Kyocera	silício multicristalino	140	1,5	0,66 8	12,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
KD 215GX-LPU	Kyocera	silício multicristalino	215	1,5	0,99	18	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,5%
KD 185GX-LPU	Kyocera	silício multicristalino	185	1,338	0,99	16	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
KD 210GX-LPU	Kyocera	silício multicristalino	210	1,5	0,99	18	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
KD 235GX-LPB	Kyocera	silício multicristalino	235	1,662	0,99	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
KD 240GX-LPB	Kyocera	silício multicristalino	240	1,662	0,99	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,6%
KD 245GX-LPB	Kyocera	silício multicristalino	245	1,662	0,99	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,9%
KD 140SX-UFBS	Kyocera	silício multicristalino	140	1,5	0,66 8	12,9	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
KD 240GH-2PB	Kyocera	silício multicristalino	240	1,662	0,99	21	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,6%
APL 235P	MARTIFER	silício multicristalino	235	1,633	0,97 6	18,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	sem	14,7%
M230P	MARTIFER	silício multicristalino	230	1,639	0,98 2	20	opaco	rígido	azul	opaco	com	14,3%
M140P-12	MARTIFER	silício multicristalino	140	1,007	0,98 2	13	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,2%
M235P	MARTIFER	silício multicristalino	235	1,639	0,98 2	20	opaco	rígido	azul	opaco	com	14,6%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
M240P	MARTIFER	silício multicristalino	240	1,639	0,982	20	opaco	rígido	azul	opaco	com	14,9%
M135P-12	MARTIFER	silício multicristalino	135	1,007	0,982	13	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,7%
M220P	MARTIFER	silício multicristalino	240	1,639	0,982	20	opaco	rígido	azul	opaco	com	14,9%
TP672M-285	MES ENERGIA	silício monocristalino	285	1,96	0,99	26	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
TP672M-295	MES ENERGIA	silício monocristalino	295	1,96	0,99	26	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,2%
JT 090SFb	JETION	silício monocristalino	90	1,195	0,541	8	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,9%
JT235PCe	JETION	silício multicristalino	235	1,655	0,992	22,5	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
JT140PFe	JETION	silício multicristalino	140	1,482	0,676	12	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
POWERPLUS 235P	CONERGY	silício multicristalino	235	1,651	0,986	19,6	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
POWERPLUS 240P	CONERGY	silício multicristalino	240	1,651	0,986	19,6	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,7%
S5M 175	SOLARIA	silício monocristalino	175	1,584	0,79	14,3	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,0%
S6M 225	SOLARIA	silício monocristalino	225	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,8%
S6M 230	SOLARIA	silício monocristalino	230	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,1%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
S6M 235	SOLARIA	silício monocristalino	235	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,4%
S6P 225	SOLARIA	silício multicristalino	225	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,8%
S6P 230	SOLARIA	silício multicristalino	230	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
S6P 220	SOLARIA	silício multicristalino	220	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,5%
S6P 235	SOLARIA	silício multicristalino	235	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
S6M 220	SOLARIA	silício monocristalino	220	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,5%
S5M 170	SOLARIA	silício monocristalino	170	1,584	0,79	14,3	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,6%
S5M 174	SOLARIA	silício monocristalino	174	1,584	0,79	14,3	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,9%
S6PG2 225	SOLARIA	silício multicristalino	225	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,8%
S6PG2 230	SOLARIA	silício multicristalino	230	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
S6PG2 235	SOLARIA	silício multicristalino	235	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
S6PG2 240	SOLARIA	silício multicristalino	240	1,646	0,991	19	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,7%
S6M2G225	SOLARIA	silício monocristalino	225	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,8%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
S6M2G230	SOLARIA	silício monocristalino	230	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,1%
S6M2G235	SOLARIA	silício monocristalino	235	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,4%
S6M2G240	SOLARIA	silício monocristalino	240	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,7%
S6M2G245	SOLARIA	silício monocristalino	245	1,646	0,991	19	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,0%
HG 50	SOLAR TERRA	silício monocristalino	50	0,78	0,55	5,6	opaco	rígido	preto	opaco	com	11,7%
HG 135	SOLAR TERRA	silício monocristalino	135	1,48	0,68	13	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,4%
HG 190	SOLAR TERRA	silício monocristalino	190	1,58	0,808	15,7	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,9%
HD 210	SOLAR TERRA	silício multicristalino	210	1,48	0,99	17	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
SW 230 POLY	SS SOLAR	silício multicristalino	230	1,675	0,951	21,2	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
SW 235 POLY	SS SOLAR	silício multicristalino	235	1,675	0,951	21,2	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,8%
SW 240 POLY	SS SOLAR	silício multicristalino	240	1,675	0,951	21,2	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	15,1%
SW 240 MONO	SS SOLAR	silício monocristalino	240	1,675	1,01	21,2	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,2%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
TSM185-72M	TRUNZ	silício monocristalino	185	1,58	0,808	15,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,5%
SV 140D12	TECNOMETAL	silício monocristalino	140	1,485	0,655	7	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,4%
SV 230D20	TECNOMETAL	silício monocristalino	230	1,645	0,981	16,4	opaco	rígido	preto	opaco	com	14,3%
SF 220-30-1P235L	HANWHA	silício multicristalino	235	1,652	1	22	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,2%
YL260C-30b	YINGLI	silício monocristalino	260	1,65	0,99	19,1	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,9%
YL265C-30b	YINGLI	silício monocristalino	265	1,65	0,99	19,1	opaco	rígido	preto	opaco	com	16,2%
YL070P-17b	YINGLI	silício multicristalino	70	0,9	0,66	7,2	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	11,8%
YL085P-17b	YINGLI	silício multicristalino	85	0,9	0,66	7,2	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
YL095P-17b	YINGLI	silício multicristalino	95	1,01	0,66	7,88	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
YL140P-17b	YINGLI	silício multicristalino	140	1,47	0,68	13,3	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,0%
YL180P-23b	YINGLI	silício multicristalino	180	1,31	0,99	15,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	13,9%
YL185P-23b	YINGLI	silício multicristalino	185	1,31	0,99	15,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,3%
YL230P-29b	YINGLI	silício multicristalino	230	1,65	0,99	19,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
YL235P-29b	YINGLI	silício multicristalino	235	1,65	0,99	19,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%

Nome	Fabricante	Tecnologia	Potência (Wp)	Comprimento (m)	Largura (m)	Peso (kg)	Visualização do substrato	Estrutura do substrato	Cor	Brilho	Moldura	Eficiência
YL240P-29b	YINGLI	silício multicristalino	240	1,65	0,99	19,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,7%
YL240P-29b	YINGLI	silício multicristalino	245	1,65	0,99	19,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	15,0%
YL275P-35b	YINGLI	silício multicristalino	275	1,97	0,99	26,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,1%
YL280P-35b	YINGLI	silício multicristalino	280	1,97	0,99	26,8	opaco	rígido	azul	brilhoso	com	14,4%
CHN100-36M	CHN	silício monocristalino	100	1,2	0,54	8	opaco	rígido	preto	opaco	com	15,4%
CHN180-72M	CHN	silício monocristalino	180	1,616	0,838	17,6	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,3%
CHN230-96M	CHN	silício monocristalino	230	1,58	1,062	21,5	opaco	rígido	preto	opaco	com	13,7%
POWERMAX 120	AVANCIS	CIGS	120	1,595	0,684	19,6	opaco	rígido	azul	opaco	com	11,0%
EU 1510	BOSCH	silício microcristalino	115	1,3	1,1	25	opaco	rígido	preto	opaco	com	8,0%
PVL-68	UNISOLAR	silício amorfo	68	2,849	0,394	3,9	opaco	flexível	azul	opaco	sem	6,1%
PVL-136	UNISOLAR	silício amorfo	136	5,486	0,394	7,7	opaco	flexível	azul	opaco	sem	6,3%
PVL-144	UNISOLAR	silício amorfo	144	5,486	0,394	7,7	opaco	flexível	azul	opaco	sem	6,7%
DA 100 A5	APOLLO	silício amorfo	100	1,409	1,11	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	6,4%
DA 100 B1	APOLLO	silício amorfo	100	1,4	1,1	30	opaco	rígido	preto	opaco	com	6,5%
DA 121-C1	APOLLO	silício amorfo	121	1,409	1,11	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	7,7%
DA 142-C1	APOLLO	silício amorfo	142	1,409	1,11	20	opaco	rígido	preto	opaco	com	9,1%



## APÊNDICE D – Detalhes das integrações utilizadas no questionário aos arquitetos

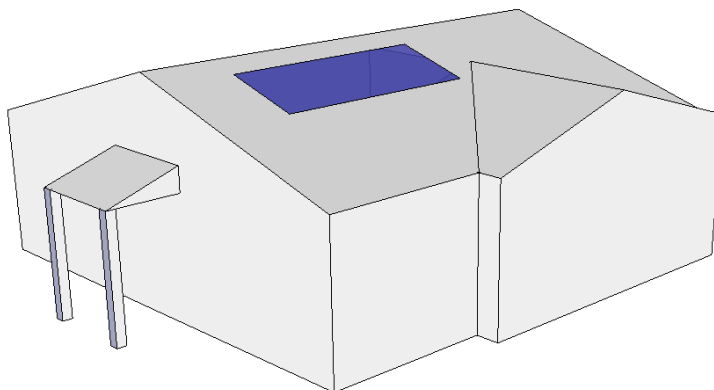
Edificação 1: Residência Urbana



Fonte:

[http://www.pvdatabase.org/urban\\_view\\_detailsinfo.php?ID=13&file=pic](http://www.pvdatabase.org/urban_view_detailsinfo.php?ID=13&file=pic)

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização: Sacramento, Califórnia, Estados Unidos da América

## Edificação 2: Corpo de bombeiros de Houten

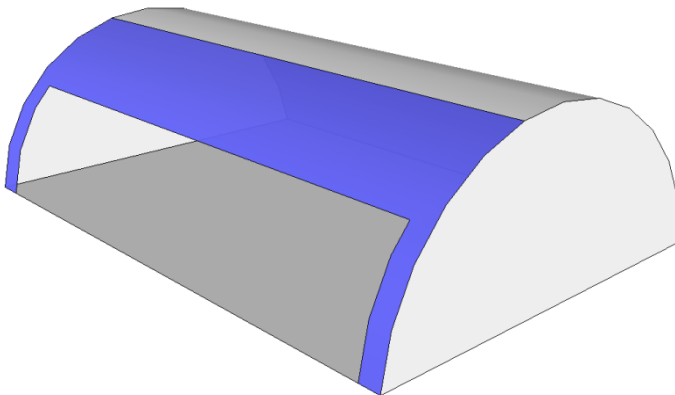


Fonte: <http://travelwithfrankgehry.blogspot.com.br/2010/04/houten-fire-station-by-samyn-and.html>



Fonte: [http://www.pvdatabase.org/projects\\_view\\_detailsinfo.php?ID=72&file=pic](http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsinfo.php?ID=72&file=pic)

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Houten, Utrecht, Holanda

### Edificação 3: Böwe Cardtec



Fonte: [http://www.pvdatabase.org/projects\\_view\\_detailsmore.php?ID=259](http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=259)

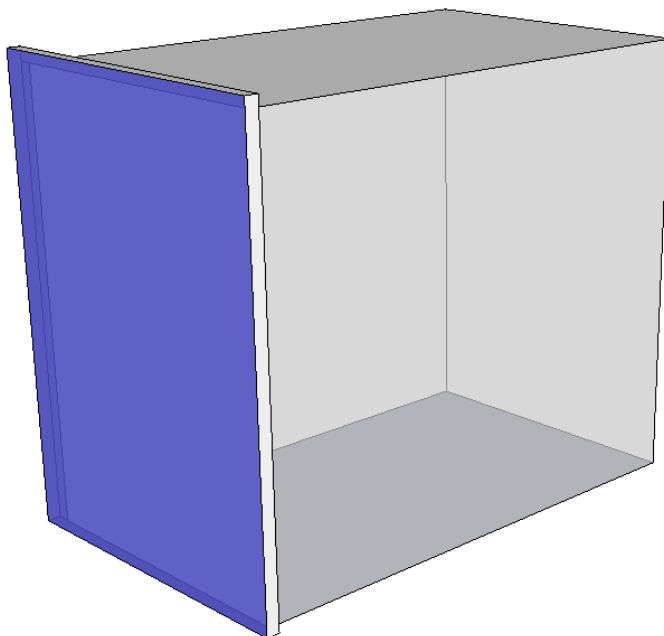


Fonte: <http://www.voelse-architekten.com/boewe-cardtec/>



Fonte: <http://www.voelse-architekten.com/boewe-cardtec/>

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Paderborn, NRW, Alemanha

Edificação 4: "Sanitary complex of the Alzheimer Project" –  
fundação Rainha Sofia



Fonte:

[http://www.pvdatabase.org/projects\\_view\\_detailsmore.php?ID=245](http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=245)



Fonte:

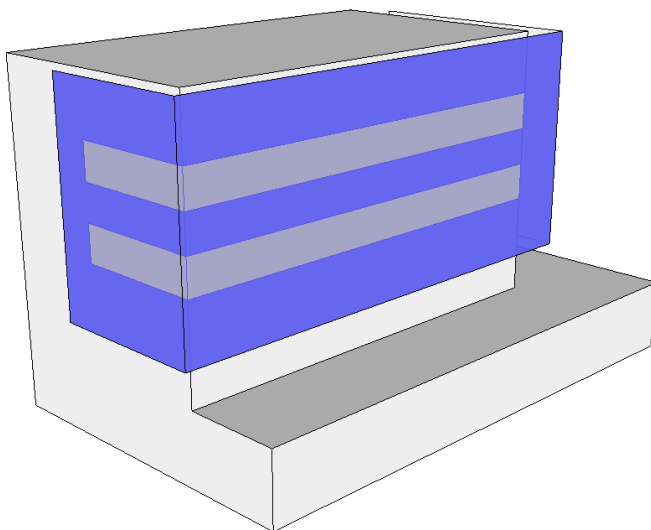
[http://www.pvdatabase.org/projects\\_view\\_detailsmore.php?ID=245](http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=245)



Fonte:

[http://www.pvdatabase.org/projects\\_view\\_detailsmore.php?ID=245](http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=245)

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Madrid, Madrid, Espanha

Edificação 5: Paolo VI Audience Hall



Fonte:

<http://www.telegraph.co.uk/earth/energy/renewableenergy/3527161/Vatican-installs-huge-solar-panel-energy-system.html>

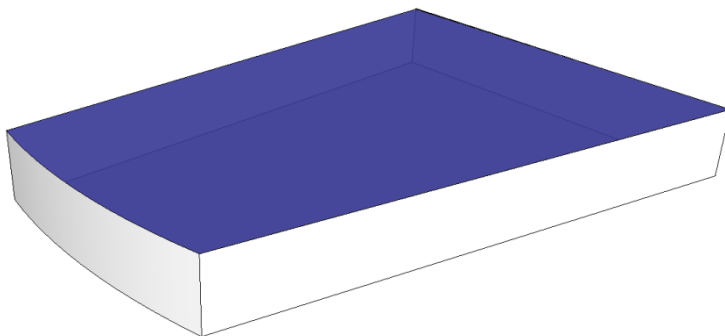


Fonte:

[http://www.bipv.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=273&Itemid=267&lang=en](http://www.bipv.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=273&Itemid=267&lang=en)



Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Cidade do Vaticano, Vaticano

## Edificação 6: BP Solar Showcase



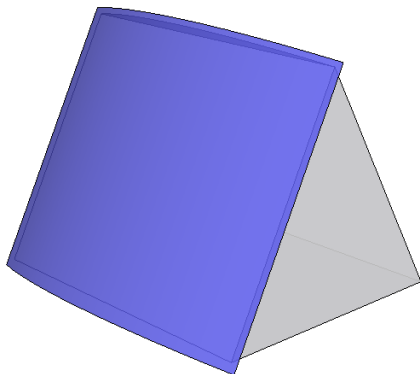
Fonte:

[http://www.bipv.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=280&Itemid=220&lang=en](http://www.bipv.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=280&Itemid=220&lang=en)



<http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=bsmkr1&logNo=80096222676&redirect=Dlog&widgetTypeCall=true>

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Beglan Bay, Grã Bretanha

## Edificação 7: Edifício Novartis Gehry



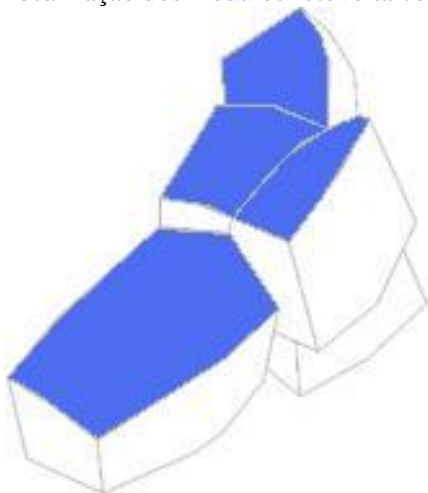
Fonte:

[http://www.bipv.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=262&Itemid=201&lang=en](http://www.bipv.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=262&Itemid=201&lang=en)



Fonte: <http://www.flickr.com/photos/learmont/4752743831/>

Localização dos módulos fotovoltaicos:



Localização geográfica: Basel, Suíça



## APÊNDICE E – Apresentação de um projeto realizado na ferramenta proposta na forma de um software.

Tela de abertura do software, ícone Início, onde é possível acessar os projetos já realizados, no ícone Projetos, ou iniciar um no ícone Novo Projeto. Em Minha conta a pessoa pode alterar seu cadastro e senha. O ícone Cadastramento aparece somente para o autor, permitindo incluir novas informações nos bancos de dados.



**BIPV**  
design

Início Cadastramento Projetos Minha Conta (admin)

### Seja bem vindo!

O BIPV design foi elaborado para auxiliar no projeto de integração fotovoltaica à arquitetura. Os módulos fotovoltaicos são utilizados para geração de energia elétrica a partir da radiação solar.

Este software é útil para o projeto de novas edificações ou edificações existentes que desejem integrar módulos fotovoltaicos em seu envelope construído.

Com este software é possível:

- Identificar o potencial de geração de um sistema fotovoltaico, considerando a cidade e a posição de instalação;
- Decidir o local da edificação a ser utilizado para integração, analisando o potencial de geração e outras edificações similares;
- Escolher o módulo fotovoltaico a ser utilizado de acordo com seu projeto;
- Quantificar a energia gerada, emissão de CO2 evitado, custos e balanço energético da edificação;
- Gerar e arquivar um relatório com todos os dados do projeto.

**Novo Projeto**

Este software é parte de um doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFSC e está em fase de testes.

Dúvidas e sugestões:  
isispoto@gmail.com

Layout by Rocket Website Templates

Copyright © 2013 Fernando Afonso Hartmann

Primeira aba contendo as informações iniciais do projeto: Nome; Cidade de localização e Irradiação a ser definida após a análise do ábaco para a cidade. À esquerda aparece sempre o resumo do projeto, com as informações já definidas.

## Novo Projeto

RESUMO

- **INÍCIO**
  - Nome: Tese Iás
  - Localização: **Selezione**
  - Irradiação: %
- **EDIFICAÇÕES**
- **ÁREA DISPONÍVEL**
  - Área: m<sup>2</sup>
- **TIPO DE MÓDULO**
  - Módulo:
  - Potência Módulo: Wp
  - Área Módulo: m<sup>2</sup>
  - Número Módulos:
  - Potência Instalada: 0,00 kWp
- **ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: 80 %
  - Estim. Geração Anual: 0,00kWh
  - CO2 Evitado: 0,00 Kg
- **ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: 7,12 R\$
  - Estim. Custo Aquis.: 0,00R\$
  - Consumo Médio Mensal: kWh
  - Balanço Energ. Anual: 0,00kWh

Início   Edificações   Área Disponível   Tipos de Módulos   Estimativa Geração   Estimativa Custos

Primeiramente defina a cidade de localização da edificação.

A seguir observe no ábaco as possibilidades de inclinação e orientação para a instalação fotovoltaica. A orientação da superfície é indicada no eixo horizontal (0°=norte, 90°=leste, 90°=oeste, 180°=sul). A inclinação é indicada no eixo vertical do ábaco, onde 0° indica uma superfície horizontal e 90° indica uma superfície inclinada na vertical, ou uma fachada. É interessante que a posição de instalação esteja nas manchas mais claras do ábaco, para possibilitar maior recebimento da radiação. Observe que em várias cidades a mancha mais clara possibilita uma variedade de possibilidades arquitetônicas.

Após a localização da posição definida/pretendida no ábaco, indique qual o percentual a que se refere a cor indicada no ábaco onde foi localizada a posição de instalação. Este percentual representa a quantidade de irradiação que os módulos irão receber em relação ao máximo possível para a cidade definida.

**Qual o nome do seu Projeto? \***

**Defina sua localização ou cidade mais próxima: \***

Selecione

**Irradiação \***

Selecione  %

Irradiação Avançada

Após definir a cidade, apresenta-se o ábaco para o projetista definir a posição que deseja instalar e indicar o percentual de irradiação a ser recebido:

- **ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: 80 %
  - Estim. Geração Anual: 0,00kWh
  - CO2 Evitado: 0,00 Kg
- **ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: 7,12 R\$
  - Estim. Custo Aquis.: 0,00R\$
  - Consumo Médio Mensal: kWh
  - Balanço Energ. Anual: 0,00kWh

Defina sua localização ou cidade mais próxima: \*

Máxima Irradiação: 4,77

Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Florianópolis - SC

Irradiação 100% = 4,77 kWh/m<sup>2</sup> dia (Radioso)

Os maiores ganhos de radiação ocorrem em superfícies orientadas entre os azimutes +60° e -60° e com inclinação entre 5° e 30°. As fachadas solares têm melhores desempenhos quando orientadas entre +60° e -60°.

**Irradiação \***

%

Irradiação Avançada



Se o projetista desejar poderá utilizar seus valores de irradiação no item ‘Irradiação avançada’, onde poderá colocar o valor de irradiação previsto para ser recebido na sua cidade, na posição que desejar e ainda indicar as perdas por sombreamento:

**Irradiação \***

100 %

---

Irradiação Avançada

A configuração de Irradiação avançada permite que você utilize seus próprios dados de irradiação para o local onde pretende fazer a instalação do sistema fotovoltaico.

O valor de Irradiação deve considerar o local, a inclinação e a orientação dos módulos fotovoltaicos. Estes valores podem ser obtidos em software como o Radiasol.

O valor de perdas por sombreamento deve considerar o valor percentual de perda anual decorrido de algum sombreamento que ocorra sobre os módulos. Este valor pode ser obtido em softwares como o 3DBR ou o PVsyst.

**Nova Irradiação \***

4,77 (kWh/m²/dia)

**Perdas por sombreamento**

0.00 (%)

Na segunda aba, ocorre a busca por edificações que o projetista deseja analisar, conforme os itens de busca.

### Novo Projeto

RESUMO
Início
Edificações
Área Disponível
Tipos de Módulos
Estimativa Geração
Estimativa Custos

- **INÍCIO**
  - Nome: Tese Iais
  - Localização: Florianópolis
  - Irradiação: 100 %
- **EDIFICAÇÕES**
- **ÁREA DISPONÍVEL**
  - Área: m²
- **TIPO DE MÓDULO**
  - Módulo:
  - Potência Módulo: Wp
  - Área Módulo: m²
  - Número Módulos:
  - Potência Instalada: 0,00 kWp
- **ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: 80 %
  - Estim. Geração Anual: 0,00kWh
  - CO2 Evitado: 0,00 Kg
- **ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: 7,12 R\$
  - Estim. Custo Aquis. 0,00R\$
  - Consumo Médio Mensal: kWh
  - Balanço Energ. Anual: 0,00kWh

Neste momento você pode fazer uma consulta ao banco de dados de edificações com integração fotovoltaica.

Com estes exemplares é possível visualizar edificações com os mesmos condicionantes de seu projeto (para isto basta marcar os itens similares ao seu projeto).

Após a seleção você irá visualizar exemplares de edificações correspondentes a sua seleção. Clicando sobre as edificações você pode conhecer detalhes mais específicos e também anexá-las como referencial no relatório final do software.



Nome/Projetista
Tipo de integração
Característica arquitetônica
Uso da edificação
Local de integração
Visualização da integração
Materiais construtivos da edificação
Superfície de integração
Visualização através da superfície
Substrato do módulo FV
Moldura do módulo FV
Tecnologia do módulo
Localização geográfica



Buscar



Na segunda aba, após a busca, aparecem os resultados de edificações. Nos resultados pode-se selecionar a edificação para visualizá-la em detalhes (lupa) e também selecioná-la para adicioná-la (símbolo +) ao relatório final do projeto:

Buscar

Exibindo 1-3 de 3 resultado(s).  
Ordenar por: Nome Projetista

Casa Eficiente Eletr ...  

Estacionamento da El ...  

Centro de Cultura e ...  

[Continuar >>](#)

Na terceira aba deve ser indicada a área disponível para a integração fotovoltaica:

**RESUMO**

- INÍCIO**
  - Nome: Tese Iais
  - Localização: Florianópolis
  - Iradição: 100 %
- EDIFICAÇÕES**
  - Estacionamento da Eletrosul
- ÁREA DISPONÍVEL**
  - Área: 25,00 m<sup>2</sup>
- TIPO DE MÓDULO**
  - Módulo:
  - Potência Módulo: Wp
  - Área Módulo: m<sup>2</sup>
  - Número Módulos:
  - Potência Instalada: 0,00 kWp
- ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: 80 %
  - Estim. Geração Anual: 0,00kWh
  - CO2 Evitado: 0,00 Kg
- ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: 7,12 R\$
  - Estim. Custo Água: 0,00R\$
  - Consumo Médio Mensal: kWh
  - Balanco Energ. Anual: 0,00kWh

Início Edificações **Área Disponível** Tipos de Módulos Estimativa Geração Estimativa Custos

Indique a área total disponível para a instalação fotovoltaica e confirme ou ajuste a posição de instalação dos módulos fotovoltaicos.

A área disponível deve ser livre de sombreamento. Se houver sombreamento a quantidade de geração será menor.

**Área Disponível \***

25,00 m<sup>2</sup>

[Continuar >>](#)

Cancelar

Na quarta aba ocorre a seleção do módulo a ser utilizado, também por meio de buscas por características.

## Novo Projeto

**RESUMO**

- **INICIO**
  - Nome: **Tese Isis**
  - Localização: **Florianópolis**
  - Irradiação: **100 %**
- **EDIFICAÇÕES**
  - Estacionamento da Eletrosul
- **ÁREA DISPONÍVEL**
  - Área: **25,00 m<sup>2</sup>**
- **TIPO DE MÓDULO**
  - Módulo:
  - Potência Módulo: **Wp**
  - Área Módulo: **m<sup>2</sup>**
  - Número Módulos:
  - Potência Instalada: **0,00 kWp**
- **ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: **80 %**
  - Estim. Geração Anual: **0,00kWh**
  - CO2 Evitado: **0,00 Kg**
- **ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: **7,12 R\$**
  - Estim. Custo Aqas: **0,00R\$**
  - Consumo Médio Mensal: **kWh**
  - Balanço Energ. Anual: **0,00kWh**

[Inicio](#)   [Edificações](#)   [Área Disponível](#)   [Tipos de Módulos](#)   [Estimativa Geração](#)   [Estimativa Custos](#)

Os módulos fotovoltaicos são equipamentos que fazem a conversão da energia solar em energia elétrica. Os módulos possuem características distintas que podem ser selecionadas abaixo. Os módulos aqui apresentados são aqueles cadastrados pelo INMETRO dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Abaixo segue a descrição das características médias de um módulo, você pode utilizá-lo para fazer os cálculos marcando a opção 'utilizar módulos base'. Salienta-se que este módulo não é um modelo existente no mercado, é apenas um modelo com características comuns a vários exemplares.

Se desejar buscar por um módulo específico que esteja comercialmente disponível, você pode fazê-lo clicando em 'busca avançada'.

Após a busca, os módulos podem ser melhor observados conforme suas especificações técnicas. Um módulo deverá ser selecionado para calcular as estimativas de geração de energia elétrica.

Após a seleção, ao final da página irá aparecer o número de módulos que poderá ser inserido na área disponível. Esta quantificação estima um uso de apenas 80% da área informada (prevendo recortes e ajustes na forma). Se você desejar, pode fazer a diagramação correta dos módulos (a partir das dimensões aqui informadas) e alterar a quantidade dos módulos para o número exato.

### Módulo base



Se o usuário não desejar escolher um módulo específico, pode utilizar as características do módulo base para o cálculo da potência instalada e número de módulos. A seguir aparecem as características do módulo base.

Fabricante: (não existente)

**Tecnologia**

- Silício multicristalino

**Potência nominal** (Em Wp)

- 205,00

**Comprimento** (maior dimensão em m)

- 1,65

**Largura** (menor dimensão em m)

- 0,90

**Peso** (em kg)

- 17,90

**Visualização do substrato**

- Opaco

**Estrutura do substrato**

- Rígido

**Cor / tonalidade**

- Azul

**Brilho**

- Superfície opaca

**Moldura**

- Com moldura

**Eficiência** (% (transformação da irradiação recebida em energia))

- 13,90

Usar Módulo Base

Busca Avançada

**Módulo base - (não existente)**

**Potência do Módulo \***

205,00

Wp

**Área do Módulo \***

1,49

m<sup>2</sup>

**Número de Módulos \***

13

**Potência Instalada \***

2,67

kWp

Na quarta aba, quando se seleciona a busca avançada, pode-se definir as características desejáveis para os módulos. Os exemplares que aparecem como resultados podem ser visualizados em detalhes (lupa) e selecionados para serem utilizados no cálculo do software (símbolo +):

Você pode, opcionalmente, digitar um operador de comparação (<, <=, >, >=, <> ou =) no início de cada pesquisa de valores para especificar a forma como a comparação deve ser feita.

▶ Tecnologia
▶ Potência nominal
▶ Comprimento
▶ Largura
▶ Peso
▶ Visualização do substrato
▶ Estrutura do substrato
▶ Cor / tonalidade
▶ Brilho
▶ Moldura
▶ Eficiência

Exibindo 1-8 de 8 resultado(s).

Ordenar por: Nome Fabricante



EU 1510 🔍 +



PVL 68 🔍 +



PVL 136 🔍 +

Na quinta aba é feito o cálculo do rendimento do sistema, estimativa de geração energética/elétrica do sistema e estimativa de CO<sub>2</sub> evitado.

## Novo Projeto

RESUMO	Início	Edificações	Área Disponível	Tipos de Módulos	Estimativa Geração	Estimativa Custos
<p><b>• INÍCIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nome: <b>Tese Isis</b></li> <li>Localização: <b>Florianópolis</b></li> <li>Irradiação: <b>100 %</b></li> </ul> <p><b>• EDIFICAÇÕES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estacionamento da Eletrosul</li> </ul> <p><b>• ÁREA DISPONÍVEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Área: <b>25,00 m²</b></li> </ul> <p><b>• TIPO DE MÓDULO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Módulo: <b>Módulo base</b></li> <li>Potência Módulo: <b>205,00 Wp</b></li> <li>Área Módulo: <b>1,49 m²</b></li> <li>Número Módulos: <b>13</b></li> <li>Potência Instalada: <b>2,67 kWp</b></li> </ul> <p><b>• ESTIMATIVA GERAÇÃO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rendimento Sistema: <b>80 %</b></li> <li>Estim. Geração Anual: <b>3.667,94kWh</b></li> <li>CO2 Evitado: <b>234,75 Kg</b></li> </ul> <p><b>• ESTIMATIVA CUSTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo Wp: <b>7,12 R\$</b></li> <li>Estim. Custo Aquis.: <b>19.010,40R\$</b></li> <li>Consumo Médio Mensal: <b>kWh</b></li> <li>Balanco Energ. Anual: <b>3.667,94kWh</b></li> </ul>	<p>A partir das informações cadastradas no software e da seleção do módulo, têm-se a estimativa de geração de energia elétrica por ano. O rendimento de 80% é um valor usual de sistema considerando as perdas nos equipamentos anexos aos módulos (inversores, cabeamento, etc.). Altere este valor se houver cálculos de projeto elétrico específico.</p> <p>A estimativa de geração considera uma média anual, podendo variar conforme as condições climáticas.</p> <p>A emissão de CO<sub>2</sub> evitada compara a geração fotovoltaica em relação com a matriz energética brasileira (EPE, 2012).</p> <p><b>Rendimento do Sistema *</b></p> <input type="text" value="80"/> %					
<p><b>Estimativa de Geração Anual *</b></p> <input type="text" value="3.667,94"/> kWh						
<p><b>CO2 Evitado *</b></p> <input type="text" value="234,75"/> Kg						
<input type="button" value="Continuar &gt;&gt;"/>						
<input type="button" value="Cancelar"/>						

Na sexta aba é feita a estimativa de custo do sistema e balanço energético anual, em relação ao consumo da edificação.

## Novo Projeto

RESUMO	Início	Edificações	Área Disponível	Tipos de Módulos	Estimativa Geração	Estimativa Custos
<p><b>• INÍCIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nome: <b>Tese Isis</b></li> <li>Localização: <b>Florianópolis</b></li> <li>Irradiação: <b>100 %</b></li> </ul> <p><b>• EDIFICAÇÕES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estacionamento da Eletrosul</li> </ul> <p><b>• ÁREA DISPONÍVEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Área: <b>25,00 m²</b></li> </ul> <p><b>• TIPO DE MÓDULO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Módulo: <b>Módulo base</b></li> <li>Potência Módulo: <b>205,00 Wp</b></li> <li>Área Módulo: <b>1,49 m²</b></li> <li>Número Módulos: <b>13</b></li> <li>Potência Instalada: <b>2,67 kWp</b></li> </ul> <p><b>• ESTIMATIVA GERAÇÃO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rendimento Sistema: <b>80 %</b></li> <li>Estim. Geração Anual: <b>3.667,94kWh</b></li> <li>CO2 Evitado: <b>234,75 Kg</b></li> </ul> <p><b>• ESTIMATIVA CUSTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo Wp: <b>7,12 R\$</b></li> <li>Estim. Custo Aquis.: <b>19.010,40R\$</b></li> <li>Consumo Médio Mensal: <b>550,00 kWh</b></li> <li>Balanco Energ. Anual: <b>-2.932,06kWh</b></li> </ul>	<p>A estimativa financeira é feita a partir de valores bibliográficos e não representa uma proposta comercial. No geral a aquisição é feita em relação à potência instalada e não a um módulos ou tecnologia.</p> <p>O custo do Wp instalado refere-se ao valor de aquisição dos módulos, inversores, cabeamento e outros equipamentos da instalação em relação ao Wp instalado (valores ABINE, 2012). É possível alterar este valor se houver conhecimento de uma proposta comercial específica.</p> <p>A estimativa do custo de aquisição apresenta o valor total do sistema, vinculado exclusivamente à potência instalada.</p> <p>No gasto médio mensal em energia deve ser inserido o consumo real ou estimado da edificação em que o sistema será inserido. Esta relação é necessária pela Resolução 482/12 da ANEEL que determina que os sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil devem ser instalados de modo a compensar a energia consumida. Assim a geração fotovoltaica é descontada do consumo mensal, se houver maior geração que consumo estes créditos poderão ser utilizados em até 36 meses. Ainda poderá haver uma taxa de utilização da rede que será cobrada junto a fatura mensal de energia e ainda não está definida.</p> <p>O Balanço anual mostra como será a relação entre o consumo energético e a geração fotovoltaica ao longo do período de um ano. Se o saldo for positivo haverá crédito de energia, se o saldo for negativo haverá débito a ser pago à concessionária. Se desejar maior geração você deve aumentar a área para inserção de módulo ou escolher um módulo com maior eficiência.</p>					
<p><b>Custo Wp *</b></p> <input type="text" value="7,12"/> R\$						
<p><b>Estimativa de Custo de Aquisição *</b></p> <input type="text" value="19.010,40"/> R\$						
<p><b>Consumo Médio Mensal *</b></p> <input type="text" value="550,00"/> kWh						
<p><b>Balanço Energético Anual *</b></p> <input type="text" value="-2.932,06"/> kWh						
<input type="button" value="Salvar Projeto"/>						

Após clicar em salvar projeto, o usuário pode optar por salvar o mesmo (acesso por meio do software), exportar relatório em formato PDF, ou visualização de outros projetos. Neste momento também é possível enviar sugestões para melhorias e alterações no software.

Novo Projeto    Editar Projeto    Exportar PDF    Meus Projetos

### Relatório

No relatório constam todas as informações indicadas ou definidas durante o projeto de instalação fotovoltaica.

Com estas informações é possível poderá fazer a diagramação dos módulos na edificação e utilizar a previsão de geração energética para cálculos de eficiência energética e geração sustentável de edificação.

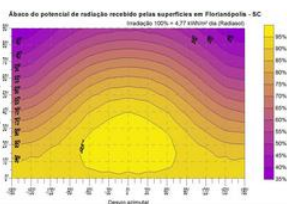
Agradecemos pela sua disponibilidade em testar o software. Gostaríamos de sua contribuição para continuar melhorando e adequando a ferramenta às necessidades reais dos arquitetos.

Por favor comente sobre dúvidas durante o processo; sugestões de elementos a serem acrescentados; críticas e sugestões gerais:

Enviar Comentário

### Tese Isis

Localização	Florianópolis
Irradiação	100 %
Novas Irradiação	4,77 %
Perdas por sobreposição	0,00 %



Área Disponível

25,00 m²

### Módulo: Módulo base



Fabricante: (não existente)

Tecnologia

• Silício multicristalino

Potência nominal (Em Wp)

• 205,00

Comprimento (maior dimensão em m)

• 1,68

Largura (menor dimensão em m)

• 0,90





## ANEXO 1- Formulário similar aplicado por outro pesquisador.

Formulário disponível em: <http://s-5587da-i.edu.surveygizmo.com/s3/i-100022545-274846/?sguid=100022545>. Enviado por Hasan Alfara, aluno da Cardiff University – UK em 22 de maio de 2012.

Next

### Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

**Introduction**

Dear Participant,

You are kindly invited to participate in a research study for a PhD degree in architecture by completing this questionnaire survey. The study investigates the architectural integration and environmental benefits of transpired solar thermal in building envelopes at residential sector. The overall aim of the study is to provide insight into the broader characteristics regarding transpired solar collectors (TSC) for space heating in buildings, and clearly its role in satisfying thermal comfort and energy saving at residential sector. This questionnaire is directed to architects, engineers, and professionals engaged in design and construction to survey their perception of the acute problematic shortage of integrating transpired solar thermal in building envelopes.

This is an anonymous questionnaire and will be exclusively used for academic purposes. Completing the survey may require approximately 20 minutes. Your participation is entirely voluntary and that you can withdraw from the survey at any time without giving a reason. Also, you can save your progress from the top of any page and return to the survey later. Nevertheless, I highly appreciate your complete participation which will add a valuable contribution to the study and the solar architecture. You are invited to provide your contact details at the end of the survey if you would like to receive a copy of the survey results. The information you provide will be treated and published only anonymously. Your contact details will not be used in the reporting or analysis in the survey. This survey has been approved by the Research Ethics Committee of the Welsh School of Architecture (EC/2012/14 on 18-Apr-2012).

If you have any questions about the survey please do not hesitate to contact me. I am happy to respond to any queries you may have.

Thank you very much in advance for your cooperation and help.

Thanks & Regards,

Hasan Alfara  
PhD Candidate in Architecture  
Cardiff University, UK  
Mob: +44 754 15 2000  
h.alfara@cardiff.ac.uk  
h.alfara@cardiff.ac.uk

Next

### Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

**Section 4: Personal Information**

**1. Profession: \***

Architect

Engineer, please specify (i.e. mechanical, civil, energy...)

Other, please specify

**2. Work Field: \***

Academia

Consultancy

National Government

Local Government

Contracting

Other

**3. Years of Experience: \***

Less than 5

5 - 10

11 - 15

More than 15

**4. Location: \***

**5. Highest academic degree: \***

PhD

MSc / MA

BSc / BA

Other

**6. What type of projects are you typically involved in? \***

Commercial

Residential

Institutional

Industrial

Other

**7. Are you aware of the Transpired Solar Collectors technology? \***  
(e.g. SolarWall, Indirect wall, Mashhur TR, LunTR, Calsonac)

Yes/aware

No/aware

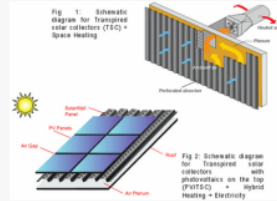
No/not aware

# Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

Note for the following sections:

The integrated Transpired Solar Collectors (TSC) for façade and/or roof provide space heating in cold seasons (Figure. 1). The technology can possibly supply fresh air in hot seasons through a bypass opening, however, this fresh air is easily avoided if expected to cause summer overheating, and the fan shuts-down.

When Transpired Solar Collectors are combined with Photovoltaic panels (PV/TSC), the hybrid provides both space heating and electricity (Figure. 2). The area of Transpired Solar Collectors for space heating in the hybrid is reduced as it is replaced by Photovoltaic for electricity generation.



Back Next

33%

## Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

### Section II: Real Integration Examples

#### 8. The integration of solar energy technologies, in general, in buildings contributes positively towards the creation of a sustainable built environment.

(You can select 1 answer) \*

- Agree  Disagree  No Opinion

Comments:

#### 9. Who does take the decision to use Transpired solar collectors in a building:

(You can select more than 1 option)

##### For Domestic buildings (i.e. dwellings):

- Government Regulation Influence
- Client
- Architect
- Project Manager
- Engineering (includes mechanical integrating team)
- Integration Design Team (which involves all the above)

##### For Non-Domestic buildings (i.e. offices):

- Government Regulation Influence
- Client
- Architect
- Project Manager
- Engineers
- Integration Design Team (which involves all the above)

Comments:

#### 10. The integration scheme of transpired solar thermal is decided by:

e.g. Façade integration, and Roof integration

(You can select more than 1 option) \*

- Architect
- Client
- Government Regulation Influence
- Project Manager
- Engineers (includes mechanical integrating team)
- Integration Design Team (which involves all the above)

Comments:



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building



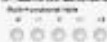
7th floor (right) - 1000 Commonwealth Avenue Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building, 1000 Commonwealth Building

71. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



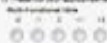
Comments

72. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



Comments

73. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



Comments

74. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



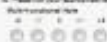
Comments

75. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



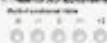
Comments

76. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



Comments

77. Please list your assessment(s) with:  
Multi-functional use



Comments

## Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

## Section C: Architectural Integration of Transpired solar collectors

18. The priority in selecting transpired solar collectors in buildings should be according to which aspects?

(You can select more than 1 option)

- Multi-Functional (as an architectural design element)
- Aesthetics
- Function (as energy generating device)
- Other

Comments:

19. Transpired Solar Collectors (TSC) [View](#) / [Transpired Solar Collectors and Photovoltaic panels](#)

19. In a typical building's geometry and adjacent parameters, which of the following integration schemes of transpired solar collectors would you recommend for?

(You can select more than 1 option)

**Non-domestic office buildings**

**Domestic residential buildings**

- TSC (Façade)  TSC (Roof)  PViTSC (Façade)  PViTSC (Roof)  TSC (Façade)  TSC (Roof)  PViTSC (Façade)  PViTSC (Roof)

Comments:

20. **In a new residential building**, if a project required a minimum of 20% renewable energy to be provided, which of the following options (if any) would you advise to be integrated?

(You can select more than 1 option)

- Transpired Solar Collector (TSC)
- Photovoltaic (PV)
- Hybrid (PViTSC)
- Solar Water Heating
- Wind Energy
- Ground Source heat pump

Please explain the reason of your selection:

21. **In an existing residential building**, if a project required a minimum of 20% renewable energy to be provided, which of the following options (if any) would you advise to be integrated?

(You can select more than 1 option)

- Transpired Solar Collector (TSC)
- Photovoltaic (PV)
- Hybrid (PViTSC)
- Solar Water Heating
- Wind Energy
- Ground Source heat pump

Please explain the reason of your selection:

22. You would support integrating transpired solar collectors in buildings for:

- New design
- Refurbishment
- Both
- Other

22. It is often difficult to harmonize transpired solar collectors with the architectural concept, when local authority design guidelines are set-up for traditional buildings:

(You can select 1 answer)  
 Agree  Disagree  No Opinion

Comments:

23. At which stage of building development would you recommend the integration of transpired solar collectors in buildings to be:

(You can select 1 answer)

- Originally integrated into the architectural design  
 Attached at later stage  
 Subject to project team decision as differs from a project to another

Comments:

24. For facade integration, transpired solar collectors technology is preferable to be aesthetically:

(You can select 1 answer)

- Clearly Featured  Somewhat Invisible  No Opinion

Comments:

25. In order to achieve architectural unity, would you recommend dummy panels on other facades (i.e. none sun facing) to match the functional unit which is only on the sun facing facade:

(You can select 1 answer)

- Yes  Sometimes  No

Comments:

26. Transpired solar collectors technology, as a source of comparatively low-cost renewable energy, contributes positively towards the creation of a sustainable built environment:

(You can select 1 answer)

- Agree  Disagree  No Opinion

Comments:

27. Please indicate the importance of the following sustainable design characteristics if you were selecting a transpired solar collector for a building:

(0 is not important at all, 1 is not important, 2 is neutral, 3 is important, and 4 is significantly important)

	0	1	2	3	4
Indoor Thermal Comfort	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reducing Carbon Dioxide (CO2) and Climate Change	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Improving Indoor Air Quality	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energy Saving	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cost Effectiveness	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Material used (Metal / Polycarbonate), as recycled product	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments: You may provide separate comments for different bases of building: directly residential and non-residential office buildings.

28. If the decision has been made to install transpired solar collectors and you are trying to source one, what is the most important factors would be?

(You can select 1 answer)

- Reliability (constant performance and efficiency which could exceed 75%)  
 Durability (capability of withstanding)  
 Life span (approximately 40 years)  
 Warranty (approximately 25 years)  
 Maintenance (committed service contract)  
 Low Capital Cost (to reduce the payback 2 - 12 years)

Comments: (You may provide separate comments for different types of building or a general residential and non-residential office, industrial...)

30. Would you find technical presentations and demonstrations helpful in your future decisions about integrating a transpired solar collector into a building?  
(Please answer if asked)


Agree  Disagree  Maybe  No Opinion

Comments:

31. The following standard colour chart is available for transpired solar collectors, would you see further colour range is needed.

No  
 Yes, specify colour(s):

Comments:



32. The lighter colours have lower solar absorptivity than darker colours, which reaches 42% for the Oyster colour versus 96% for black colour for instance. Does this contradict the aesthetic coherence in your opinion?  
(Please answer if asked)

Yes  No  Maybe  No Opinion

Comments:

33. Transpired solar collectors might be useful in providing summer cooling, would you recommend a dual function through conversion to:  
(Please answer if asked)

Solar chimney  
 Act as sun shading device  
 Dual function is not recommended  
 Other, please specify:

Comments:

---

## Architectural Integration of Transpired Solar Thermal

Section D: Key Issues

34. From your experience, what are the Key issues for integrating transpired solar collectors in Domestic residential buildings, and Non-domestic office buildings?

35. Please give any further comments here:

36. I appreciate your feedback. If you would like to receive a copy of the survey results, please provide your contact details.

Name

Title

Email Address

Phone Number