

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS**

**GÜNTHER KALTMAIER JUNIOR**

**METODOLOGIA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE SISTEMAS  
FOTOVOLTÁICOS INTEGRADOS À ARQUITETURA POR MEIO DE  
FERRAMENTAS OPERACIONAIS – ESTUDO DE CASO PARA UM  
PROJETO EM CURITIBA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA - PR**

**2015**

**GÜNTHER KALTMAIER JUNIOR**

**METODOLOGIA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À ARQUITETURA POR MEIO DE  
FERRAMENTAS OPERACIONAIS – ESTUDO DE CASO PARA UM  
PROJETO EM CURITIBA**

Monografia apresentada para a obtenção do título  
de Especialista no Curso de Pós-Graduação em  
Construções Sustentáveis, Departamento  
Acadêmico de Construção Civil, Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.  
Orientador: Prof. Jair Urbanetz, Dr. Eng.

**CURITIBA - PR**

**2015**

**GÜNTHER KALTMAIER JUNIOR**

**METODOLOGIA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
INTEGRADOS À ARQUITETURA POR MEIO DE FERRAMENTAS OPERACIONAIS –  
ESTUDO DE CASO PARA UM PROJETO EM CURITIBA**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

---

Prof. Jair Urbanetz Dr. Eng.

Professor do DAELT, UTFPR

Banca:

---

Prof. André Nagalli, Dr. Eng.

Professor do DACOC, UTFPR

---

Prof. Ivan de Azevedo Cardoso, Dr. Eng.

Professor do DACOC, UTFPR

CURITIBA - PR

2015

Kaltmaier Jr., Günther

METODOLOGIA DE APOIO À CONCEPÇÃO DE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À ARQUITETURA POR MEIO DE  
FERRAMENTAS OPERACIONAIS - ESTUDO DE CASO PARA UM PROJETO  
EM CURITIBA

Monografia apresentada como requisito necessário para obtenção  
título de Especialista em Nome do Curso de especialização em  
Construções Sustentáveis - IV CECONS

Orientador: Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.

Coorientador: Aloísio Leoni Schimdt, Dr. Eng.

Título em Inglês: DESIGN METHODOLOGY of BIPV SYSTEMS BY  
SIMULATIONS HELD ON SOFTWARE TOOLS - CASE STUDY FOR A PROJECT IN  
CURITIBA

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado professor Eloy Fassi Casagrande, pela criação do curso CECONS e por suas honoráveis realizações, as quais me influenciaram na busca pelo conhecimento do desenvolvimento sustentável.

Obrigado professor Jair Urbanetz Junior, pelos conhecimentos reveladores transferidos, pela atenção e tempo despendidos, e pela confiança cedida durante a orientação e desenvolvimento deste trabalho.

Obrigado professor Aloisio Leoni Schimdt, pela paciência e pelas conversas que contribuíram para ampliar os horizontes do conhecimento.

Agradeço aos meus amigos e familiares pelo apoio.

Em especial agradeço a minha filha Elisa e a minha esposa Giselle, pela compreensão e carinho.

KALTMAYER, G., **Metodologia de apoio à concepção de sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura por meio de ferramentas operacionais – estudo de caso para um projeto em Curitiba**. 78 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – DACOC - Programa de Pós-Graduação em Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

## RESUMO

O trabalho aborda aspectos envolvidos na concepção e avaliação de sistemas fotovoltaicos integrados a arquitetura (SFVIA) sob a premissa do desenvolvimento tecnológico sustentável. A temática é apresentada por meio da revisão da literatura, sob as óticas técnica, ambiental, estética-constructiva e econômica. É proposto um estudo de caso em Curitiba – PR – Brasil, elaborando-se um projeto de integração fotovoltaica a arquitetura em fase inicial de concepção, possibilitando a aplicação de ferramentas operacionais conforme seus atributos específicos. É proposta uma metodologia projetual visando a criação arquitetônica aliada a geração energética fotovoltaica, abordando aspectos de desempenho, custos e benefícios ambientais por meio de simulações computacionais realizadas em ferramentas operacionais disponíveis e de fácil acesso. Foram selecionadas e utilizadas cinco ferramentas: *SketchUp*, *System Advisor Model*, *Corel Photo-Paint*, *Microsoft Excel* e *BIPV Design*. As ferramentas foram aplicadas e 3 diferentes superfícies do modelo foram selecionadas e denominadas como faces ativas, planos onde houve a previsão para instalação de painéis fotovoltaicos (FV). É apresentada uma tabela resumo dos dados coletados nas ferramentas. Os resultados demonstraram a viabilidade do método assim como das ferramentas utilizadas como apoio nos momentos iniciais de concepção de SFVIA, principalmente sob os aspectos técnicos de potência e estimativas de geração de energia, quantidade de área necessária e aspecto dos módulos fotovoltaicos, e obras referenciais arquitetônicas. O *yield* ou índice de produtividade foi utilizado como fator de avaliação qualitativa do sistema. Os índices de produtividade (*yield*) demonstraram que o sistema proposto produziria 65,62% comparado a um sistema de referência (SR). Foram identificadas, no entanto, limitações quanto aos dados ambientais e econômicos fornecidos pelas ferramentas, considerados insuficientes para se obter um panorama holístico dos possíveis benefícios da instalação e investimento em sistemas energéticos deste tipo. Ao final sugere-se a validação do método proposto por meio de outros estudos de casos e em comparação a dados fornecidos por outras ferramentas.

Palavras chave: Desenvolvimento sustentável. Energia fotovoltaica. Arquitetura. Ferramentas operacionais.

**KALTMAIER, G., Design methodology of BIPV systems by simulations held on software tools - case study for a project in Curitiba.** Monograph of expertise in sustainable construction 78 p. – DACOC - Programa de Pós-Graduação em Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Brazil. 2015.

#### **ABSTRACT**

The work addresses aspects involved in the design and evaluation of Building-integrated photovoltaics (BIPV) under the premise of sustainable technological development. The theme is presented through literature review, under technical, environmental, aesthetic-constructive and economical optics. It proposes a case study in Curitiba - PR - Brazil, by the elaboration of a architectural study in early design stages, enabling the application of computer softwares tools in accordance with their specific attributes. It proposes a methodology to architectural creation combined with photovoltaic energy generation, addressing aspects of performance, costs and environmental benefits by computer simulations in available and easily accessible softwares. Five tools were selected: SketchUp, System Advisor Model, Corel Photo-Paint, Microsoft Excel and BIPV Design. The tools were applied and three different model surfaces were selected by their radiance potencial, called active surfaces, planes which were forecast for installation of PV panels. A table summary of the data collected by the tools is displayed. The results demonstrated the feasibility of the method as well as the tools, used as a support in the early stages of design SFVIA, mainly in the technical aspects of power and energy generation estimates, needed area for installation, appearance of photovoltaic modules, and architectural reference works. The yield or productivity index was used as a qualitative assessment factor of the system. Productivity rates (yield) demonstrated that the proposed system would produce 65.62% compared to the yield of a reference system (SR). Were identified, however, limitations on the environmental and economic data provided by the tools, considered insufficient to obtain a holistic overview of the possible benefits of BIPV systems, and of the investments feedbacks of energy systems of this type. At the end it is suggested to validate the method proposed by other studies and compared with data from other tools.

Keywords: Sustainable development. Photovoltaics. Architecture. Software tools.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Eficiência de tipos de módulos conforme a tecnologia dos materiais. Fonte: EPIA 2010. ...	22
Figura 2 Direita: Exemplo com alguns tipos de células comercializadas por um determinado fabricante, dimensões, eficiência e Watt pico de cada amostra. Esquerda: Exemplo com alguns tipos painéis translúcidos comercializados por um determinado fabricante, as células são aplicadas entre duas camadas de vidro. Fonte: SAPASOLAR. <a href="http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html">http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html</a> . Acessado em 22/09/2015.....	24
Figura 3: Esquerda: Exemplo de BAPV. Sistema fotovoltaico aplicado ao telhado de uma edificação existente na Alemanha.. <i>Direita</i> : Exemplo de BIPV. Edifício no Quai de Valmy 179, Paris, França. Arquitetos: Emmanuel Saadi e Jean-Louis Rey. Fonte: HEINSTEIN, 2013 .....	26
Figura 4: Variações da radiação recebida por planos verticais, horizontais e inclinados para latitudes do hemisfério norte, demonstrados em percentual aproximado. Fonte: POLYSOLAR 2012. ....	28
Figura 5: Representações simplificadas com exemplos de possíveis situações de sombreamento parcial, os quais devem ser evitados ou mitigados visando aumentar o potencial energético. Fonte: POLYSOLAR 2012. ....	29
Figura 6: Possibilidades arquitetônicas de aplicação em projetos de SFVIA. Fonte: CATHCART, 1993.....	30
Figura 7: Aspectos de uma integração de sucesso. Fonte: SCHMIDT. 2014. ....	31
Figura 8: Conceituação holística para o sucesso numa integração FV. HAGEMANN, 2004 .....	32
Figura 9: <i>Solar Fabrik</i> , Freiburg, Alemanha. Edifício de uma fábrica de painéis fotovoltaicos. Fonte: NIKOLAUS et al. 2012.....	32
Figura 10: Casa Solara in Laax, Suíça, 2012, arquiteto Giovanni Cerfenda. Fonte: VERBERNEL <i>et al.</i> , 2014.....	33
Figura 11: Paul Horn Arena, Tübingen, Alemanha. Arquitetos: Allman & Sattler & Wappner Architekten. Fonte: SWISS BIPV COMPETENCE CENTER. Disponível em: <a href="http://www.bipv.ch/index.php/en/">http://www.bipv.ch/index.php/en/</a> . Acessado em 14 set. 2015. ....	33
Figura 12: <i>Juwi Head Office</i> , Bolanden, Alemanha. Fonte: HEINSTEIN. 2013.....	34
Figura 13: <i>Umweltarena Spreitenbach</i> , Suíça, 2012. Fonte: HEINSTEIN. 2013.....	34
Figura 14: Edifício com aplicação de sistemas fotovoltaicos integrados a elementos de sombreamento de fachadas. Local: Alemanha. Fonte: SINAPIS, 2013. ....	35
Figura 15: Visualização 2D em projeção horizontal do sítio proposto. <i>Software: SketchUp</i> Fonte: Autor. ....	38
Figura 16: Visualização 3D isométrica do sítio proposto com a localização do lote (em verde forte) a partir da orientação norte. <i>Software: SketchUp</i> . Fonte: Autor. ....	39
Figura 17: Resultado volumétrico do estudo teórico de massas, baseado em parâmetros urbanísticos. Softwares utilizados: SketchUp e Corel Photo-Paint. Fonte: Autor.....	42

Figura 18: Simulação quadro a quadro do volume sob os efeitos da trajetória aparente do sol. O potencial de radiação pode ser estimado conforme a tonalidade cromática (mais claro mais radiação), e estimativa visual da incidência sombreamento. Ao final da series a ilustração demonstra a sobreposição das imagens. Local: Curitiba, PR, Brasil - 25°25'47" S /49°16'19" O. GMT -03:00h. Máscara de sombras em intervalos de 60 minutos medidos das 9h às 17h. <i>Software: SketchUp</i> . Fonte: Autor. ....	43
Figura 19: Simulação de sombreamento conforme trajetória aparente do sol entre as 8h e 18h, comparativo de potencial de radiação solar de incidência de sombreamento para as 3 datas selecionadas. Local: Curitiba, PR, Brasil - 25°25'47" S /49°16'19" O. GMT -03:00h. Máscara de sombras em intervalos de 60 minutos medidos das 8h às 18h. <i>Softwares: SketchUp e Corel Photo-Paint</i> . Fonte: Autor.....	44
Figura 20: Modelo 3D com ajustes volumétricos propostos. Fonte: Autor. ....	46
Figura 21: Modelo 3D com ajustes volumétricos propostos. Mascaras de sombra e intensidade da radiação por análise cromática de tonalidade. <i>Softwares</i> utilizados: <i>SketchUp</i> e <i>Corel Photo-Paint</i> . Fonte: Autor. ....	46
Figura 22: Esquerda: Definição das faces que poderão receber o material fotovoltaico. Direita: O potencial percebido conforme análise desempenho e divulgação. Fonte: Autor. ....	47
Figura 23: Projeção de topo do modelo e visualização em 3D elaborado no software SAM (System Advisor Model). Fonte: Autor.....	48
Figura 24: Tela inicial do software BIPV Design. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	51
Figura 25: Tela de configuração inicial da ferramenta. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	52
Figura 26: Esquerda: Desenho geométrico da implantação demonstrando desvio azimutal previsto no projeto. Direita: Visualização tridimensional do modelo indicando Faces ativas definidas para o projeto. Fonte: Autor. ....	53
Figura 27: Amostras de integração fotovoltaica a arquitetura.Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a>	56
Figura 28: Faces selecionadas para aplicação de painéis fotovoltaicos campo para inserção da área disponível, inserindo-se dados para F1. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	57
Figura 29: Demonstração de módulos para seleção e aplicação. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	59

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Simulação quantitativa mensal e horária (%) da incidência se sombras nas superfícies. Simulação das faces ativas realizada no <i>software</i> SAM NREL em 21 set. 2015. Fonte: Autor. ....	49
Tabela 2: Porcentagens horarias e mensais de sombreamento, e suas respectivas médias e somas, cálculos realizados no <i>Software: Microsoft Excel</i> . Fonte: Autor. ....	50
Tabela 3: Comparativo entre os dados das faces ativas F1, F2 e F3, e de um sistema de referência (SR). Fonte: Autor. ....	67

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Campos para inserção de dados de taxa de irradiação. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	54
Quadro 2: Campos para inserção de dados de percentual de irradiação e irradiação avançada. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	54
Quadro 3: Parâmetros para seleção de edificações com integração fotovoltaica. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	55
Quadro 4: Características de filtros para seleção de obras referenciais. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	56
Quadro 5: Lista de amostras de integração fotovoltaica a arquitetura selecionadas na ferramenta. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	57
Quadro 6: Informações sobre a seleção de módulos. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	58
Quadro 7: Características de filtros para seleção de módulos fotovoltaicos. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	58
Quadro 8: Seleção dos filtros conforme intenção projetual. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> ..	59
Quadro 9: Imagem e características do módulo selecionado. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a>	60
Quadro 10: Informações de potência, área e quantidade de módulos para F1. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	61
Quadro 11: Estimativa de energia e CO <sub>2</sub> evitado. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	62
Quadro 12: Estimativa de custos, consumo médio mensal e balanço energético. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> .....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Potencial energético global conforme a fonte. Fonte: PEREZ <i>et al.</i> , 2009.....	17
Gráfico 2: Mapa de disponibilidade de radiação solar direta no plano horizontal em kWh/m <sup>2</sup> .dia (dia típico ou média anual) no território brasileiro. Fonte. PERERIA et al., 2006. ....	19
Gráfico 3: Avanço da eficiência de conversão máxima de tipos de células a partir da década de 1970. Fonte NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2013. Disponível em: <a href="http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg">http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg</a> . Acesso em 09 out. 2015. Adaptado pelo autor. ....	23
Gráfico 4: Ábaco de Radiação para Curitiba. Fonte: SANTOS, 2014. ....	27
Gráfico 5: Ábaco com identificação das taxas de radiações de cada face ativa. Fonte: <a href="http://tecnando.com/bipvdesign/">http://tecnando.com/bipvdesign/</a> . Adaptado pelo autor.....	53

## LISTA DE SIGLAS, SIMBOLOS E ACRÔNIMOS

Item	Unidade	Descrição
	R\$/Wp	Custo do watt pico FV instalado em reais do brasil
<b>A<sub>B</sub></b>	%	Taxa prevista de aberturas para superfície elencada
<b>A<sub>b</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área prevista de aberturas para a superfícies
<b>A<sub>c</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área computável de edificação
<b>A<sub>cmax</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área máxima computável da edificação
<b>A<sub>DIV</sub></b>	m	Afastamento das divisas
<b>A<sub>FV</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área instalada de painéis fotovoltaicos
<b>A<sub>m</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área do módulo selecionado
<b>A<sub>s</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área da superfície delimitada
<b>A<sub>T</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área do terreno selecionado
<b>A<sub>tipo</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área do pavimento tipo da edificação
<b>A<sub>tipomax</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área máxima permitida para o pavimento tipo
<b>A<sub>TOT</sub></b>	m <sup>2</sup>	Área disponível para aplicação de painéis FV
<b>B<sub>E</sub></b>	kWh	Balanco energético anual
<b>BAPV</b>		<i>Building-Applied (Attached) Photovoltaics</i>
<b>BIPV</b>		<i>Building-integrated Photovoltaics</i>
<b>C</b>	m	Comprimento do pavimento tipo da edificação
<b>C<sub>a</sub></b>		Coefficiente máx. De aproveitamento permitido
<b>C<sub>m</sub></b>	m	Comprimento do módulo selecionado
<b>CO<sub>2</sub></b>	kg	Estimativa de co2 evitado
<b>CSP</b>		<i>Concentrated Solar Power</i> (Energia HélioTérmica concetrada)
<b>C<sub>T</sub></b>	m	Comprimento do terreno selecionado
<b>D</b>	kWh/m <sup>2</sup> .a	Demanda típica da edificação
<b>D<sub>A</sub></b>	%	Percentual da demanda atendida pelo sistema
<b>D<sub>a</sub></b>	Un	Quantidade de dias anuais em um ano
<b>D<sub>ANUAL</sub></b>	kWh.a	Consumo médio anual da edificação proposta
<b>D<sub>MENSAL</sub></b>	kWh.mês	Consumo médio mensal da edificação proposta
<b>E<sub>ANUAL</sub></b>	kWh	Estimativa de geração anual do sistema proposto
<b>E<sub>f</sub></b>	%	Eficiência do módulo fotovoltaico
<b>F<sub>s</sub></b>	un	Fator de sombreamento calculado
<b>FV</b>		Fotovoltaico
<b>H</b>	m	Altura da edificação proposta
<b>H<sub>F</sub></b>	%	Percentual de radiação recebida pela face ativa
<b>H<sub>S</sub></b>	m	Altura da superfície selecionada
<b>H<sub>tot</sub></b>	kWh/m <sup>2</sup>	Irradiação máxima para a localidade
<b>H<sub>totn</sub></b>	kWh/m <sup>2</sup>	Nova irradiação
<b>H<sub>tots</sub></b>	kWh/m <sup>2</sup>	Irradiação total considerando-se a redução por sombreamento
<b>H<sub>TX</sub></b>	%	Taxa de irradiação
<b>I</b>	R\$	Estimativa custo aquisição do sistema FV proposto
<b>L</b>	m	Largura do pavimento tipo da edificação proposta
<b>L<sub>m</sub></b>	m	Largura do módulo selecionado
<b>L<sub>S</sub></b>	m	Largura da superfície selecionada

<b>L<sub>T</sub></b>	m	Largura do terreno selecionado
<b>M<sub>od</sub></b>		Identificação do modulo selecionado
<b>N<sub>pav</sub></b>	un	Quantidade de pavimentos da edificação proposta
<b>P</b>	kg	Peso unitário do módulo selecionado
<b>P<sub>d</sub></b>	m	Desnível entre os pisos da edificação proposta
<b>P<sub>FV</sub></b>	kWp	Potência instalada prevista para o sistema
<b>P<sub>n</sub></b>	Wp	Potência nominal
<b>PR</b>	%	Taxa de desempenho adotado para o sistema
<b>Q</b>	Unidades	Contagem final de módulos fv
<b>R<sub>9</sub></b>	m	Redução da largura do piso do 9º pavimento
<b>R<sub>10</sub></b>	m	Redução da largura do piso do 10º pavimento
<b>R<sub>a</sub></b>	m <sup>2</sup>	Redução de área prevista para a edificação
<b>SAM</b>		<i>System Advisor Model</i> – ferramenta computacional
<b>SFVIA</b>		Sistema fotovoltaico integrado a arquitetura
<b>SR</b>		Sistema de referência
<b>S<sub>S</sub></b>	%	Taxa de sombreamento
<b>SWERA</b>		<i>Solar and Wind Resource Assessment</i>
<b>T<sub>ec</sub></b>		Tecnologia do material fotovoltaico adotado
<b>T<sub>o</sub></b>		Taxa de ocupação
<b>y</b>	kWh/kWp	<i>Yield</i> (PRODUTIVIDADE)
<b>y<sub>Y</sub></b>	% / SR	Taxa de <i>yield</i> em relação a sr
<b>Y<sub>SR</sub></b>	kWh/kWp	<i>Yield</i> DO SISTEMA DE REFERÊNCIA
<b>ZEB</b>		<i>Zero Enrgy Building</i> (Edificação de energia Zero)

# Sumário

<b>CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 TEMÁTICA E DELIMITAÇÃO .....	16
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3.1 O potencial energético solar e de fontes renováveis .....	16
1.3.3 A perspectiva econômica.....	18
1.3.4 Benefícios ambientais .....	18
1.3.5 O cenário brasileiro .....	19
1.4 OBJETIVOS .....	21
1.4.1 Objetivo geral.....	21
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>CAPITULO II – REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	22
2.1 ESTADO DA ARTE – TECNOLOGIA .....	22
2.2 BIPV e BAPV. ....	25
2.3 PERFORMANCE EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	26
2.4 SUCESSO NA INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	29
<b>CAPITULO III - METODOLOGIA</b> .....	37
3.1. PROPOSTA ARQUITETÔNICA PARA UM ESTUDO DE CASO .....	37
3.1.1. Definição do sítio de implantação – aplicação da ferramenta <i>SketchUp</i> .....	38
3.1.2. Modelagem do estudo de massas - aplicação da ferramenta <i>SketchUp</i> .....	40
3.1.3. Simulação do potencial de radiação e identificação da incidência sombreamento .....	43
3.2. EMPREGO DE ESTRATÉGIAS GEOMÉTRICAS VISANDO POTENCIALIZAR GERAÇÃO ENERGÉTICA .....	44
3.3. ESTIMATIVA ENERGÉTICA, AMBIENTAL E CUSTOS DE INSTALAÇÃO - APLICAÇÃO DA FERRAMENTA BIPV DESIGN .....	50
3.3.1. Determinação do local, radiação e sombreamento .....	52
3.3.2. Edificações – BIPVs de referência.....	54

3.3.3.	Área disponível .....	57
3.3.4.	Seleção e quantidade de módulos - potência instalada.....	57
3.3.5.	Estimativa de geração e CO <sub>2</sub> evitado .....	61
3.3.6.	Estimativa de custos e balanço energético .....	62
<b>CAPITULO IV –RESULTADOS, CONCLUSÕES E DISCUSSÕES .....</b>		<b>66</b>
4.1.	RESULTADOS.....	66
4.2.	CONCLUSÕES.....	68
4.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E DISCUSSÕES.....	71
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>
6.1.	RELATÓRIOS GERADOS PELA FERRAMENTA BIPV DESIGN .....	78

## CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMÁTICA E DELIMITAÇÃO

A busca por soluções construtivas visando o desenvolvimento sustentável é a premissa do desenvolvimento deste trabalho. A percepção de que a energia será um bem cada vez mais caro e escasso influenciou então na definição da temática a ser estudada: geração energética a partir de elementos agregados ao ambiente construído, a partir de fonte renovável e de uma matriz tecnológica ambientalmente, socialmente e economicamente viável. Como capturar energia de maneira integrada à arquitetura? Uma das opções tecnológicas se destaca atualmente: Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Arquitetura (SFVIA), termo cunhado a partir de seu original em Inglês “Building Integrated Photovoltaics”, cuja abreviação “BIPV” é mais comumente utilizada na extensa literatura disponível. Atualmente existem alguns *softwares* e ferramentas computacionais disponíveis para calcular de forma estimativa custos e benefícios de sistema fotovoltaicos. Estas ferramentas são consideradas facilitadoras do processo de concepção de sistemas fotovoltaicos

### 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

-A realização de simulações por meio de ferramentas operacionais por meio de um método prático é um instrumento viável para avaliar e apoiar a concepção de sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura?

-Quais principais atributos, dados e capacidades computacionais podem contribuir na avaliação e tomada de decisões durante a concepção arquitetônica com integração fotovoltaica?

-Como avaliar qualitativamente uma proposta de um sistema fotovoltaico integrado à arquitetura?

### 1.3 JUSTIFICATIVA

#### 1.3.1 O potencial energético solar e de fontes renováveis

Richard e Marc Perez publicaram um trabalho em 2009 intitulado “*A fundamental look at energy reserves for the planet*” (Um olhar fundamental sobre as reservas para o planeta) e combinaram em um infográfico o potencial energético mundial, separando-as em fontes finitas ou renováveis, e conforme se observa no Gráfico 1, o potencial da energia solar se destaca das demais fontes. Em sua conclusão relatam:

Em uma conclusão lógica isolada indicaria que o futuro energético planetário será baseado na energia solar. Obviamente haverá desafios, manejando as variáveis locais - mas globalmente estável e previsível - de recursos, em particular desenvolvendo o armazenamento necessário de tecnologias e infraestruturas. No entanto, a energia solar - tal como consagrado pela fotovoltaica dispersa e CSP - é o único recurso praticamente pronto a explorar que é grande e aceitável o suficiente para sustentar o planeta para o longo curso” (PEREZ et al., 2009).

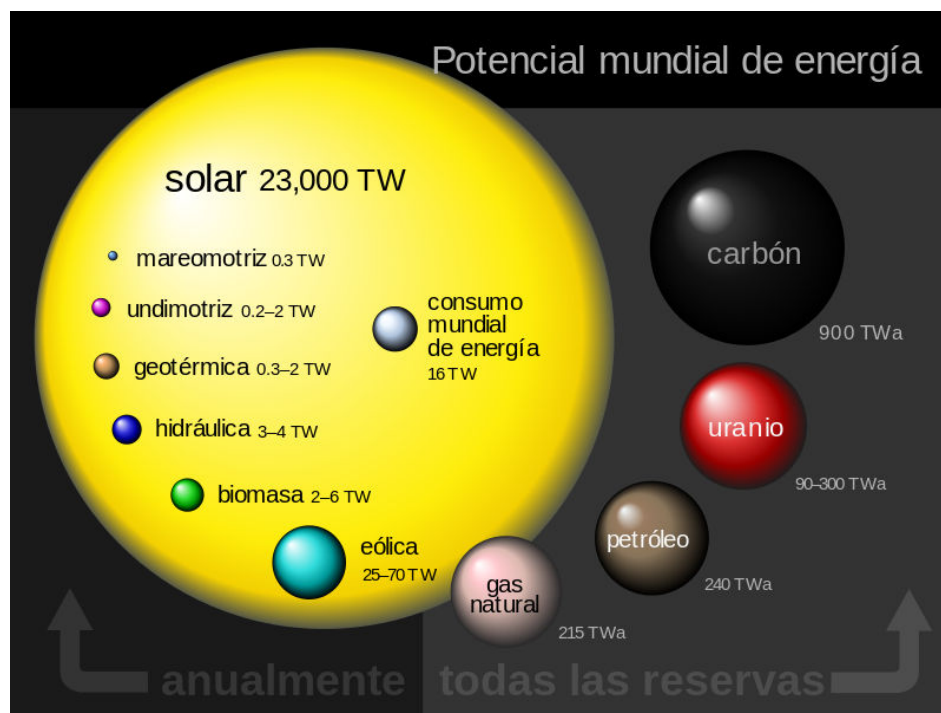


Gráfico 1: Potencial energético global conforme a fonte.  
Fonte: PEREZ et al., 2009

A energia do sol se propaga na forma de radiação eletromagnética, classificada em espectros: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios Gama, podendo ser utilizada por exemplo para a fotossíntese, aquecimento ou para **geração direta de eletricidade**. A tecnologia que permite atualmente a captação, conversão e geração direta desta energia atualmente é denominada tecnologia fotovoltaica (URBANETZ, J. 2014).

### 1.3.2 Tecnologia fotovoltaica

Atualmente a tecnologia dos módulos solares fotovoltaicos é mais usual para geração de energia elétrica a partir da energia solar. Os sistemas fotovoltaicos poderão ser classificados quanto as suas características de ligação em sistemas isolados (SFVI-sistemas fotovoltaicos isolados) ou então interligados à rede fornecedora, denominados na literatura por SFVCR, sistemas fotovoltaicos conectados à rede”. (URBANETZ, J. 2014).

A diferença entre SFVI e SFVCR é que em um SFVI é necessário armazenar a energia excedente gerada, em bancos de baterias por exemplo, para poder utilizá-la posteriormente, ao passo que em um SFVCR esta característica não é necessária pois o consumidor permanecerá utilizando o sistema distribuído pela concessionária local. A ciência, conceitos e fundamentos da tecnologia fotovoltaica, assim como seus parâmetros de eletrônica, captação, conversão, materiais e outros aspectos estão fartamente estudados, comprovados e demonstrados na literatura” (RÜTHER, 2014; URBANETZ, 2014). Em países com alto avanço tecnológico tais com E.U.A., China, Japão, Espanha, Alemanha, Itália, entre outros, esta solução já vem sendo amplamente utilizada e desenvolvida. Já faz parte do conhecimento e do cotidiano público, assim como do repertório técnico dos profissionais, construtores e empreendedores. Os exemplares arquitetônicos se multiplicam acompanhando o desenvolvimento da tecnologia e a redução dos custos de instalação, difundindo a possibilidade energética fotovoltaica agregada a edificações.

### 1.3.3 A perspectiva econômica

O desenvolvimento tecnológico e o aumento da capacidade instalada poderão ser responsáveis pela redução nos custos destes sistemas, tal como está ocorrendo no mercado global. Visualizando uma perspectiva de esgotamento contínuo de recursos fósseis e consequentemente do aumento do valor para aquisição dessas energias, o investimento em energias renováveis tende a ficar continuamente mais viável economicamente. Em países onde há um entendimento sobre os benefícios da energia fotovoltaica nas matrizes energéticas, incentivos fiscais e disponibilidade de obtenção de créditos atrativos contribuem para a proliferação dos sistemas fotovoltaicos da esfera privada e pública, uma vez que permitem melhores retornos e benefícios financeiros.

### 1.3.4 Benefícios ambientais

Sob a ótica ambiental a geração fotovoltaica é uma base promissora para uma arquitetura sustentável e construção de edifícios ecológicos. Pesquisas revelam que cada kWp fotovoltaico instalado evita a emissão de cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub> por ano” (ARCHER e HILL, 2001). A proliferação de sistemas fotovoltaicos poderá contribuir para a geração elétrica distribuída e próxima ao local de demanda, o que poderá reduzir progressivamente a dependência nacional de sistemas de geração e distribuição centralizados, aliviando então a pressão sobre os sistemas energéticos convencionais. Sistemas energéticos convencionais são vistos como um dos causadores de mudanças climáticas além de causar extensos e duradouros impactos ambientais. A energia gerada pela queima e aquecimento de recursos como o gás e o carvão emitem quantidades de gases cujo efeito de alteração na atmosfera e no clima global

poderão não ser suportados futuramente pela civilização humana terrestre. Com relação às hidroelétricas, umas das principais fontes energéticas brasileiras, o impacto causado pela formação Lagos de Hidroelétricas requer longas e complexas análises e custosos licenciamentos.

### 1.3.5 O cenário brasileiro

O potencial brasileiro de radiação solar varia de 4,00 e 6,65 kWh/m<sup>2</sup>.dia no plano horizontal. No Brasil os primeiros exemplares arquitetônicos a utilizarem sistemas fotovoltaicos como fonte de energia surgem a partir do início do século XXI, principalmente em sistemas aplicados a edificações existentes, e apesar do alto potencial de radiação que o território possui, o desenvolvimento ainda é modesto comparativamente aos países com alto nível de desenvolvimento tecnológico fotovoltaico, mas com menor potencial de radiação como a Alemanha por exemplo, cuja média anual máxima não ultrapassa os 3,60 kWh/m<sup>2</sup>.dia no plano horizontal.

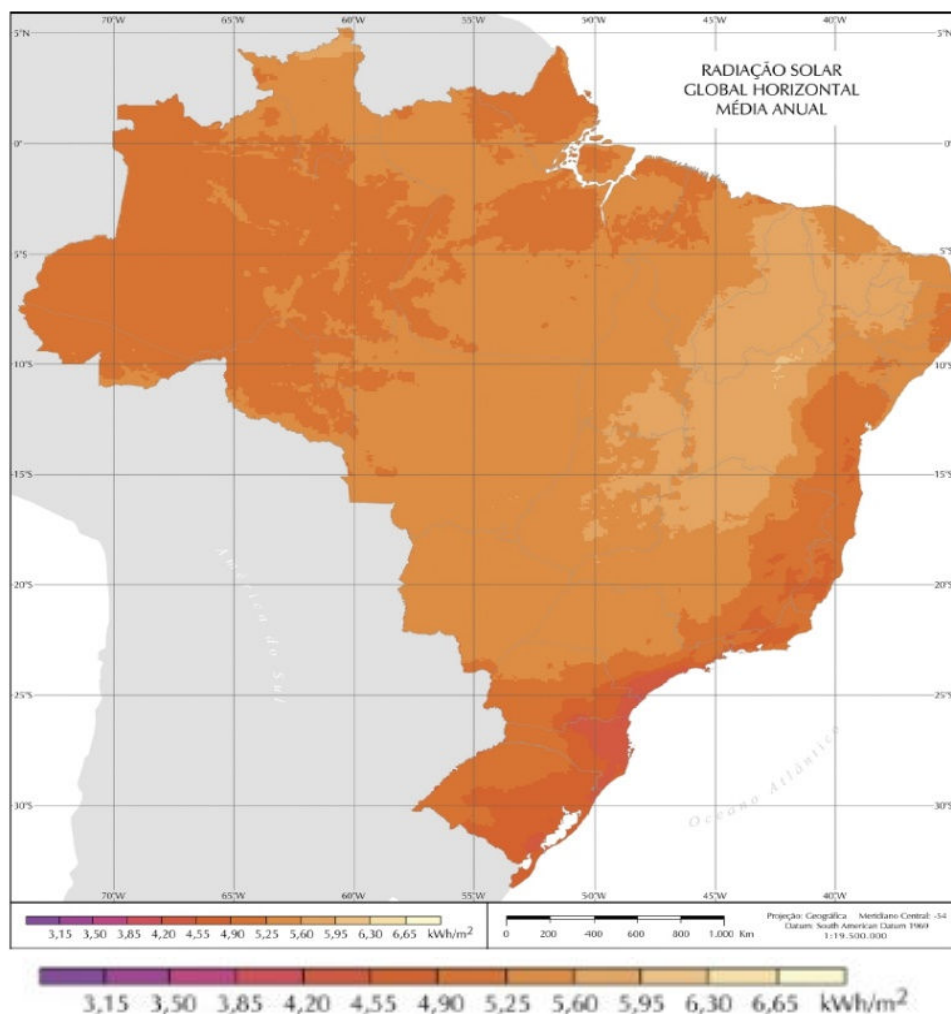


Gráfico 2: Mapa de disponibilidade de radiação solar direta no plano horizontal em kWh/m<sup>2</sup>.dia (dia típico ou média anual) no território brasileiro. Fonte. PERERIA et al., 2006.

Percebe-se no público leigo e no corpo técnico nacional (Arquitetos, Engenheiros, Construtores, Empreendedores) uma resistência à aplicação de sistemas fotovoltaicos cujas causas principais podem ser o simples desconhecimento sobre o tema, o receio quanto aos custos de investimento, dúvidas quanto aos benefícios reais e principalmente quanto ao aspecto do retorno econômico.

No entanto já ocorrem mudanças e incentivos no cenário brasileiro. Após a resolução 482/2012 a ANEEL, que permite aplicar o sistema de compensação de energia elétrica, conhecido no idioma inglês como *net metering*, o consumidor pode utilizar a energia gerada em sua unidade para abater do consumo da concessionária, por meio de medidores bidirecionais. Esta resolução permite então que a construção possa alcançar um balanço energético igual ao seu consumo. Estes novos edifícios são reconhecidos atualmente como “ZEB”, *Zero Energy Buildings*, edifícios que utilizam boas práticas construtivas para economizar energia (com climatização por exemplo) e ainda produzem energia com elementos agregados ao corpo edificado devolvendo para a rede o mesmo montante consumido, numa análise anual. A análise anual permite uma estimativa equilibrada pois sazonalmente a geração elétrica do sistema poderá ser superior ou inferior ao consumo (maior no verão e menor no inverno). A resolução descreve ainda que caso balanço seja positivo poderá o crédito ser utilizado num período máximo de 36 meses, podendo ser utilizado em outras unidades consumidoras caso o titular seja o mesmo.

O ZEB já é visto como uma solução para mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> e a redução da energia utilizada em edificações” (MARZAL *et al.*, 2011). O termo “energia-zero” é utilizado para descrever o balanço da energia utilizada pela edificação e seus ocupantes e a energia gerada por fontes renováveis instaladas integradas às edificações” (HERNANDEZ e KENNY, 2010). No entanto outros aspectos devem ser observados, para se definir um ZEB: o período do balanço, a fonte energética renovável, os níveis de eficiência energética na edificação, o sistema gerador de energia elétrica empregado, e se for um sistema conectado, a integração com a rede “ (MARZAL *et al.*, 2011). Observados tais aspectos, os ZEB podem ser construídos em diferentes contextos e climas que dependem apenas do emprego das tecnologias mais adequadas para cada situação. Portanto um ZEB necessita de uma arquitetura bioclimática e de um sistema gerador de energia elétrica, baseado em energia renovável, integrado ao mesmo “ (PACHECO e LAMBERTS, 2008).

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é propor e avaliar um método prático de apoio à concepção de sistemas fotovoltaicos por meio de simulações realizadas em ferramentas operacionais.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Explorar aspectos técnicos, econômicos, ambientais e culturais envolvidos na concepção de um SFVIA por meio da revisão da literatura disponível;
- Selecionar, aplicar e avaliar ferramentas operacionais quanto suas capacidades computacionais específicas, atributos de simulação estimativa, aptidões de cálculo e extração de dados;
- Avaliar qualitativamente uma proposta preliminar de integração fotovoltaica a arquitetura, verificando o desempenho previsto para o sistema, conforme os resultados fornecidos pelas ferramentas utilizadas.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo são apresentados o tema, problema, justificativa e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

No segundo capítulo é realizada uma revisão da literatura abrangendo aspectos tecnológicos de eficiência entre outras características, são apresentados os tipos de sistemas fotovoltaicos relacionados a edificações procurando entender as diferenças entre eles e suas principais vantagens e características. Em seguida são demonstradas algumas possibilidades recorrentes em projetos de integração fotovoltaica aos elementos construtivos edificados. São analisadas então as estratégias geométricas com maior potencial para geração energética assim como fatores prejudiciais à eficiência do sistema. Ao final do capítulo são apresentadas algumas amostras de edificações existentes com SFVIA procurando visualizar exemplos de sucesso na integração fotovoltaica.

No terceiro capítulo as ferramentas operacionais são aplicadas. É apresentado um estudo volumétrico arquitetônico elaborado afim de se aplicarem as ferramentas. Apresenta-se o desenvolvimento do estudo avaliando-se o potencial energético e técnico do modelo. No quarto capítulo os resultados são analisados e é então feita uma análise qualitativa do modelo identificando-se seu potencial e suas limitações, apresentando-se então as conclusões, discussões e considerações finais.

## CAPITULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ESTADO DA ARTE – TECNOLOGIA

Para se obter o entendimento das tecnologias e materiais envolvidos na geração fotovoltaica é preciso revisar o estado atual das células, arranjos e sua eficiência. A eficiência de um painel terá impacto direto na conversão direta de energia solar em eletricidade. As características dos materiais fotovoltaicos também servirão para se avaliar as características e possibilidades de aplicação com relação a aspectos estéticos, como por exemplo textura, forma e cor dos materiais. Alguns materiais possibilitarão ao projetista utilizar por exemplo formas curvas tais como filmes finos, outros delimitarão a liberdade formal apontando para soluções modulares e planas.

O silício é o material mais comumente usados para módulos fotovoltaicos. Os tipos de materiais de silício utilizados em células solares são o monocristalino, policristalino e silício amorfo. Além disso, há fitas de células de silício policristalino que são produzidos por desenho, e filmes planos finos de silício fundido, economizando desta forma, os tempos e custos de produção devido à redução de desperdícios de silício uma vez que não é necessário serrar o silício a partir de lingotes, embora à custa de menor nível de eficiência de células solares (BJØRN *et al.*, 2011). O processo de serragem de lingotes de silício é moroso, e causa desperdícios sob a forma de poeira.








	FILMES FINOS				SILÍCIO		
	(CdTe)	Cl(G)S	a-Si/ $\mu$ c-Si	Dye s. cells	(a-Si)	Mono	Multi
Eficiência da célula							
Eficiência do módulo	10-11%	7-11%	7-9%	2-4% (LAB)	4-8%	13-19%	11-15%
Área necessária por KW (módulos)	~ 9m <sup>2</sup>	~ 10m <sup>2</sup>	~ 12m <sup>2</sup>		~ 15 m <sup>2</sup>	~ 7m <sup>2</sup>	~ 8m <sup>2</sup>

Figura 1: Eficiência de tipos de módulos conforme a tecnologia dos materiais.

Fonte: EPIA 2010.

Células de silício monocristalino são feitos de silício monocristalino puro e têm as mais altas eficiências, mas também preços ligeiramente mais elevados. A cor é normalmente preta ou cinza. As células de silício policristalino são produzidos usando lingotes de silício multicristalino. Devido a um processo de fabricação mais fácil, as células de silício

policristalino possuem menor custo, mas também são menos eficientes. Eles são reconhecidos pela cor azul brilhante que vem da variedade de pequenos cristais. Painéis de silício policristalino e monocristalino formam as tecnologias à base de *wafers*. Células de silício amorfo são compostas por uma camada muito fina de silício cristalizado e depositada sobre um substrato. Isso faz com que as células mais finas e células amorfas sejam também referidas como células de película fina. A cor geralmente é marrom. Eficiências típicas para células monocristalino variam entre 16-24%, e os módulos monocristalino ,mais eficientes, atualmente têm eficiências de aproximadamente 20%. Para as células policristalinas a eficiência é tipicamente de 14 à 18%. A eficiência das células de silício amorfo pode variar de 4% a 10%. A potência por unidade de área é tipicamente de 75-155 Wp/m<sup>2</sup> para os módulos monocristalinos e policristalinos, e de 40-65Wp/m<sup>2</sup> para os módulos de película fina (BJØRN *et al.*, 2011). Estes dados coletados a partir de testes em laboratório e demonstram o avanço da eficiência em condições padrões de teste (25°C e densidade atmosférica de 1,5.), porém em situações reais diversos fatores irão contribuir para a perda de eficiência tais como variações de temperatura, acúmulo de poeira, precipitação de neve, perdas elétricas, etc.

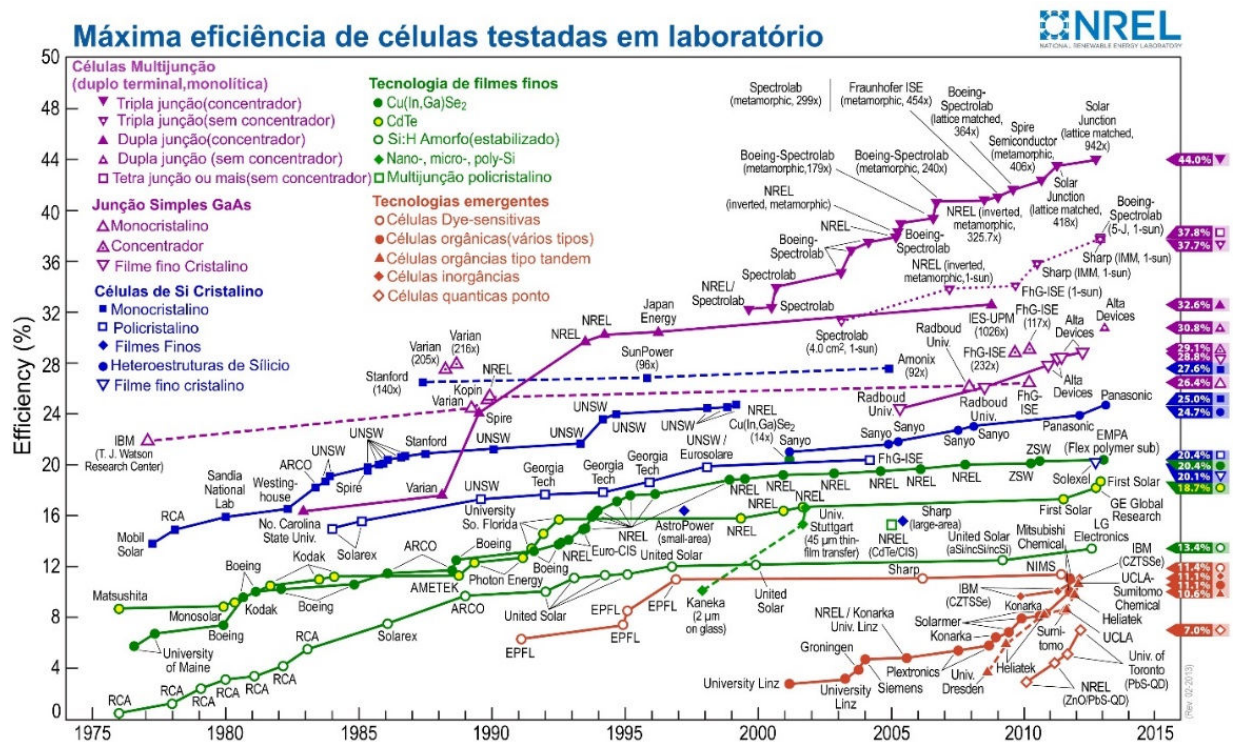


Gráfico 3: Avanço da eficiência de conversão máxima de tipos de células a partir da década de 1970. Fonte NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2013. Disponível em: [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg). Acesso em 09 out. 2015. Adaptado pelo autor.

Os materiais fotovoltaicos de filme fino não compostos por silício são: arseneto de gálio (GaAs), telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio (CIS) e cobre, índio e gálio (CIGS). Células solares de CdTe são fabricados em um substrato de vidro com um óxido

condutor transparente (TCO) e a camada de contato frontal normalmente é feita de óxido de estanho fluorado (FTO). Esta é inicialmente revestida com uma camada tipo-n de sulfídio de cádmio (CdS) e uma camada tipo-p secundária de CdTe absorvedor. A tecnologia CdTe possui os menores custos de produção entre os módulos de película fina atuais, e é um dos mais promissores para aplicação em larga escala. A cor é de um reflexo verde escuro e a eficiência da célula possui valores típicos entre 9,4-13,8%. Células CIS e CIGS são atualmente a mais eficazes das células de filme fino, com eficiências típicas de células entre 11-18,7%, sendo a cor de um cinza escuro ao preto. Os mais eficientes módulos CIS / CIGS atualmente têm eficiências de aproximadamente 13% de espessura (BJØRN *et al.*, 2011).

No aspecto arquitetônico e estético dos materiais fotovoltaicos percebe-se que fornecedores e fabricantes têm investido em produzir materiais atrativos para o mercado (ver fig.2), quando aplicados a superfícies translúcidas os materiais fotovoltaicos podem alcançar bom apelo estético e com grande atrativo ao uso por parte profissionais da arquitetura e construção, além das características de eficiência e geração energética. Estes tipos de painéis podem desempenhar tripla função arquitetônica, servindo como material gerador de energia, material de vedação e por fim como elemento de proteção solar, sombreamento e filtragem da incidência direta da luz solar nos ambientes, fato que contribui para elevar o potencial econômico e de eficiência energética das edificações.

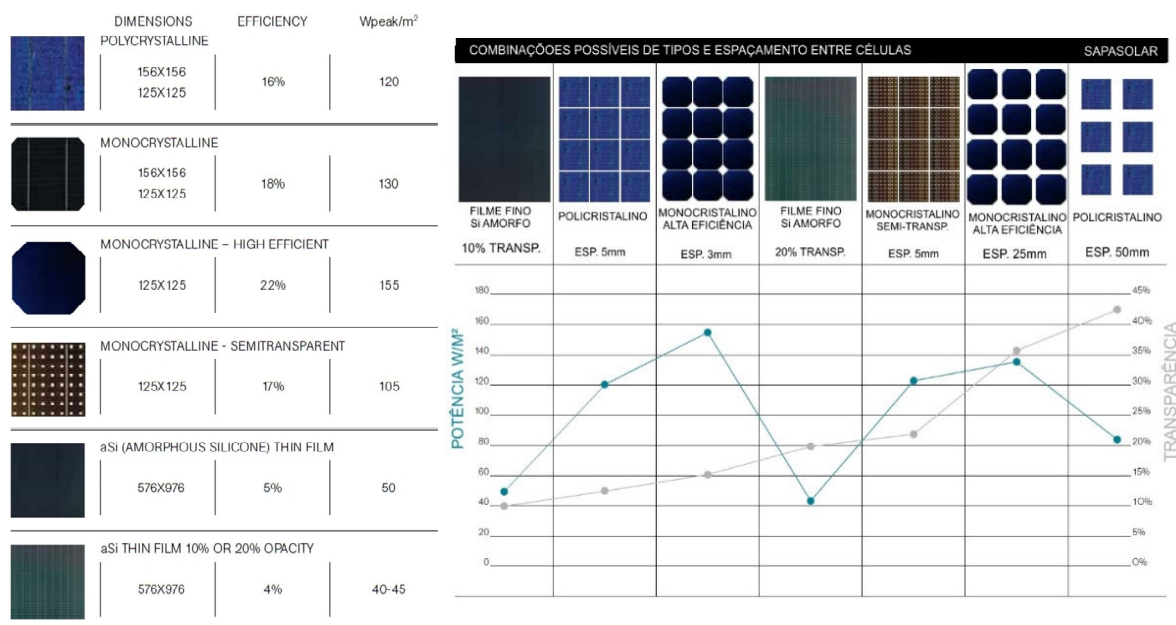


Figura 2 Direita: Exemplo com alguns tipos de células comercializadas por um determinado fabricante, dimensões, eficiência e Watt pico de cada amostra. Esquerda: Exemplo com alguns tipos painéis translúcidos comercializados por um determinado fabricante, as células são aplicadas entre duas camadas de vidro. Fonte: SAPASOLAR. <http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html>. Acessado em 22/09/2015

## 2.2 BIPV e BAPV.

Duas classificações principais podem ser utilizadas para definir a construção fotovoltaica aplicada a arquitetura quanto à matriz projetual construtiva: BIPV e BAPV. Os termos são abreviações e referem-se aos termos em inglês:

BIPV – *Building-integrated Photovoltaics*, traduzindo-se para o português: fotovoltaica integrada às edificações, ou sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, ou o termo utilizado no trabalho: sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura.

BAPV - *Building Attached (or) Applied Photovoltaics*. Traduzindo-se para o português, fotovoltaica anexada (ou) aplicada às edificações (ou) à Arquitetura.

BIPV são consideradas uma parte funcional da estrutura ou envólucro do edifício, ou seja, são arquitetonicamente integrados ao projeto do edifício, desde sua concepção inicial. Essa categoria inclui projetos que substituem os materiais de construção convencionais, tais como materiais de cobertura, revestimentos de fachadas, superfícies translúcidas, mas sempre externamente, ou seja, em sua envoltória. Estes tipos de produtos podem ser em alguns casos indistinguíveis de seus homólogos não-fotovoltaicos. Esteticamente, isso pode ser atraente quando há um desejo para manter a continuidade arquitetônica e não atrair a atenção para a matriz fotovoltaica. Módulos BIPV também podem ser elementos arquitetônicos que contribuem para a estética do edifício criando desejáveis efeitos visuais, abrindo campo para criações de novas propostas arquitetônicas, se o futuro energético será baseado na fonte solar, a arquitetura do futuro pende para a arquitetura fotovoltaica.

BAPV são considerados geralmente uma adição ao edifício, não tendo relevância decisiva no momento de concepção arquitetônica original e não diretamente relacionadas com aspectos funcionais da estrutura e/ou materiais da envoltória.

Na figura 3 observam-se duas possibilidades de fotovoltaica agregada a edificações. Percebe-se que nas soluções BIPV as possibilidades estéticas e compositivas têm maior potencial comparado a solução BAPV. As superfícies fotovoltaicas podem propiciar novas formas, texturas, cores e influenciar significativamente no partido arquitetônico desde sua concepção inicial.



Figura 3: Esquerda: Exemplo de BAPV. Sistema fotovoltaico aplicado ao telhado de uma edificação existente na Alemanha.. *Direita*: Exemplo de BIPV. Edifício no Quai de Valmy 179, Paris, França. Arquitetos: Emmanuel Saadi e Jean-Louis Rey.

Fonte: HEINSTEIN, P. ,2013.

No entanto essas duas classificações podem não ser claramente definidas na prática. Em muitas situações de RETOFIT a aparência pode ser melhorada e atualizada, com resultado estético superior ao original, e sem que se perceba o sistema como uma adição estranha ao corpo existente, mas como um conjunto arquitetônico holístico. A partir deste pensamento, pode se afirmar que a principal diferença entre BIPV e BAPV está no nível de comprometimento da integração entre os sistemas fotovoltaicos e a arquitetura dos edifícios, no grau de cumplicidade entre eles.

### 2.3 PERFORMANCE EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A performance de um sistema fotovoltaico conectado à rede depende da eficiência das células, do clima local, da orientação e inclinação dos arranjos fotovoltaicos, características de carga e da eficiência do inversor (NORTON *et al.*, 2010). Considerando-se os aspectos de orientação azimutal e inclinação dos módulos, cuja abordagem é de cunho basicamente geométrico, os ábacos solares (ver gráf. 4) são uma ferramenta simples e eficientes para orientar o projetista na análise e/ou busca pela maior radiação conforme o ângulo de inclinação e o desvio azimutal. Utilizando os dados de radiação de softwares especializados (RADIASOL elaborado pela UFRGS por exemplo) ou o sistema SWERA (*Solar and Wind Resource Assessment*) e interpolando-se desvio azimutal e inclinação do plano obtém-se uma imagem bidimensional indicando as porcentagens das radiância médias em função da geometria pretendida.

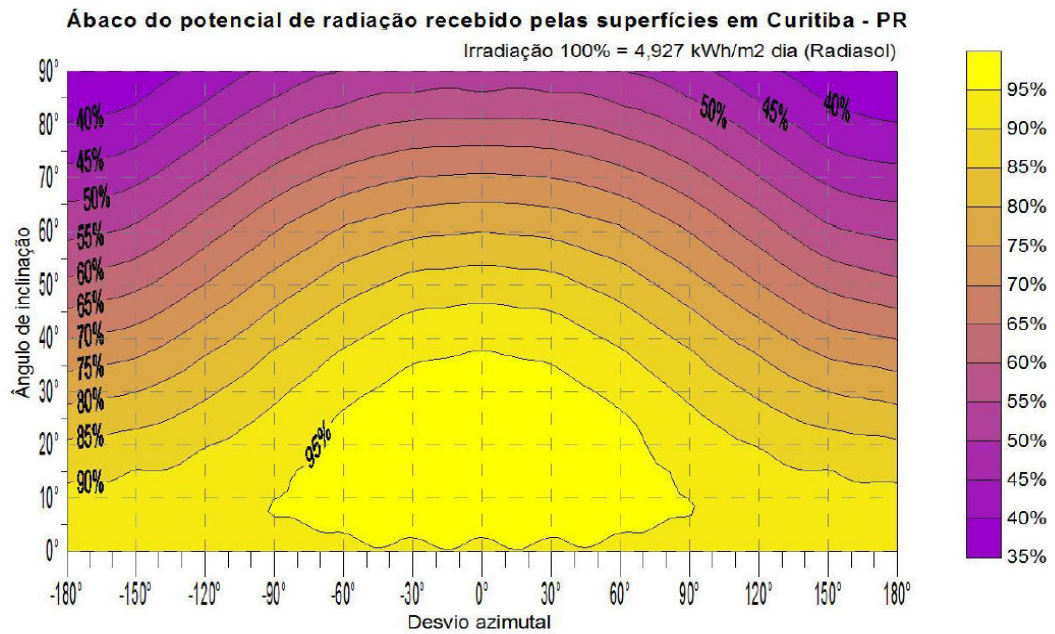


Gráfico 4: Ábaco de Radiação para Curitiba.  
Fonte: SANTOS, 2014.

Considerando-se a radiação máxima para um determinado local e multiplicando-se pelo percentual apresentada no ábaco, conforme a orientação e inclinação, adquire-se o valor para a radiação de um determinado plano. Observa-se por exemplo que para inclinação de faces verticais a 90° (fachadas) a radiação máxima ficará em torno de 55% do fisicamente possível, considerando-se o desvio azimutal em N0°. A estratégia formal arquitetônica com maior potencial energético fotovoltaico poderá, e deverá a priori, seguir aquela com maior potencial de radiação, de acordo com a intenção projetual. Para sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a otimização de performance anual usualmente é obtida quando o arranjo é orientado para o equador (voltado para o norte em locais situados no hemisfério sul e para o sul em locais situados no hemisfério norte), em ângulos próximos ao da latitude local (URBANETZ et al., 2011). Um sistema orientado desta forma é considerado na literatura como sendo um sistema de referência (SR) ou um sistema idealmente posicionado (ZOMER, 2012). Para Curitiba o posicionamento ideal será aquele com desvio Azimutal 0° e inclinação dos módulos entre 15° e 25°. Com estas informações em mente é possível elaborar desde a concepção inicial estratégias formais geométricas visando aproveitar ao máximo a energia radiante disponível com base na orientação e inclinação das superfícies arquitetônicas fotovoltaicas.

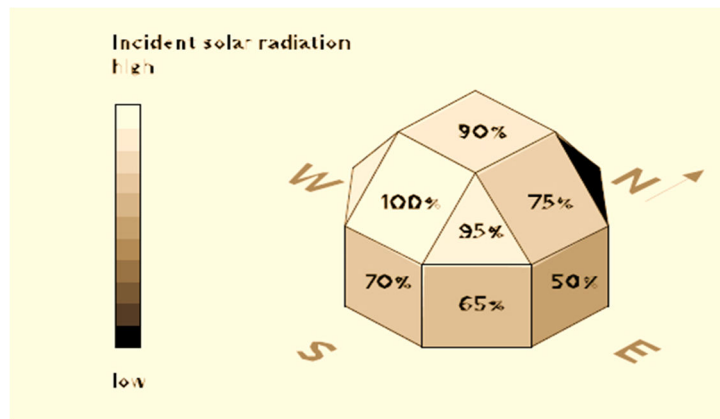


Figura 4: Variações da radiação recebida por planos verticais, horizontais e inclinados para latitudes do hemisfério norte, demonstrados em percentual aproximado.

Fonte: POLYSOLAR 2012.

Outros aspectos e fatores contribuirão para a redução da eficiência dos sistemas fotovoltaicos: degradação de componentes com o decorrer do tempo; Eficiência dos componentes do sistema; acoplamento com a rede elétrica; sombreamento parcial; acúmulo de sujeira, e acúmulo de poeira e neve sobre os módulos por exemplo (NORTON *et al.*, 2010).

A perda pela eficiência e degradação de componentes ainda é inevitável e dependente do avanço tecnológico atual. A perda por acúmulo de partículas sobre os módulos poderá ser mitigada com a constante manutenção mas demandará custos constantes. O sombreamento dependerá do entorno direto (antrópico ou natural) e do formato da própria edificação (ver fig. 5), tendendo a ser maior em entornos urbanos com maior densidade e altura edificada. As perdas por sombreamento parcial são um capítulo à parte nos estudos de SFVIA, e vários pesquisadores estudam ou estudaram o fenômeno, no entanto a mensuração destas perdas em função do sombreamento não está consolidada na literatura (MELO, 2012; ZOMER, 2014, ROCHE *et al.*, 1995; RADIKE E SUMMHAMMER, 1999). O ideal é que as possíveis perdas na geração energética devido ao sombreamento parcial sejam quantificadas e avaliadas na fase de projeto. Tais fenômenos de sombreamento podem causar dois efeitos principais: extrinsecamente, que leva à redução da radiação solar incidente e, conseqüentemente, uma redução na produção de energia, e intrinsecamente, a irradiância não homogênea na superfície do painel FV pode causar incompatibilidade elétrica. Em um grande número de sistemas BIPV na União Europeia (UE), sombreamento causou reduções anuais de rendimento entre 5% e 10%. A título indicativo, no Programa Alemão 1000 Telhados, foi registrado que 41% dos sistemas instalados foram afetados pelo sombreamento, o que representou uma perda de energia de 10%. Os mesmos resultados foram encontrados no programa de teste japonês (DRIFF *et al.* 2007). Portanto estudos prévios acerca de projeções de sombras no local ao longo do ano poderão evitar perda de desempenho adequando-se o conceito arquitetônico formal. O uso de

métodos e ferramentas para fazer esta avaliação tais como softwares (ex.: ECOTEC, SAM, SketchUp, Google, CAD, etc.), maquetes físicas e observação no próprio local podem auxiliar na busca de soluções e partidos visando mitigar os efeitos de sombreamento e potencializar a performance.

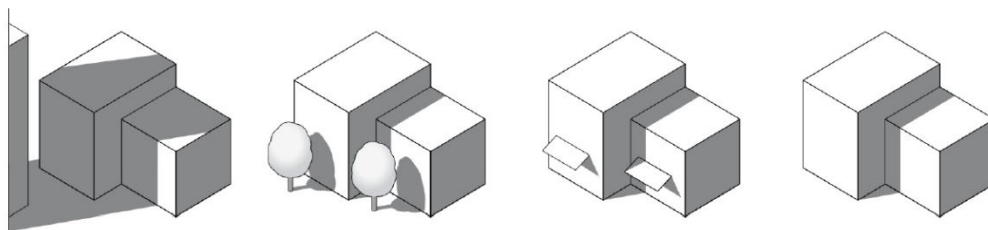


Figura 5: Representações simplificadas com exemplos de possíveis situações de sombreamento parcial, os quais devem ser evitados ou mitigados visando aumentar o potencial energético.

Fonte: POLYSOLAR 2012

As principais formas de avaliar a qualidade e performance de um sistema fotovoltaico são através de seu *yield*, e através de seu *performance ratio* (PR) ou taxa de desempenho. Com estes índices é possível comparar sistemas com diferentes configurações, dimensões, tecnologias e localizações (MARION *et al.*, 2005). O *yield* é o resultado da divisão da energia elétrica total gerada pelo sistema na saída do inversor em determinado intervalo de tempo, dividido pela potência nominal do sistema fotovoltaico (kWh/kWp) (MARION *et al.*, 2005) e está diretamente relacionado à disponibilidade de irradiação solar na superfície dos módulos fotovoltaicos. O PR expressa o desempenho real de um sistema fotovoltaico em comparação com o mesmo sistema sem perdas, para uma mesma localização geográfica e indica o quanto o sistema real se aproxima do sistema ideal (BLAESSER, 1997). O PR independe da localização geográfica e é influenciado pela irradiação, eficiência final dos componentes do sistema, taxa de carregamento do inversor e design do sistema (NORTON *et al.*, 2010). O PR de dois sistemas idênticos, tanto em relação ao tipo de módulos, inversores e componentes, pode diferir em até 30%, principalmente devido a perdas por sombreamento (DECKER e JAHN, 1997). Portanto, pode-se dizer que o PR está mais diretamente relacionado à engenharia dos sistemas fotovoltaicos (ZOMER, 2014). Estes parâmetros para avaliar sistemas fotovoltaicos representam uma excelente maneira de se avaliar se um sistema fotovoltaico está produzindo energia com boa performance.

## 2.4 SUCESSO NA INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA

SFVIAs poderão possuir outras qualidades além do desempenho. As possibilidades de integração dos sistemas fotovoltaicos propiciam diversos usos destes sistemas agregados ao

corpo da edificação, desempenhando também um papel construtivo funcional (ver fig. 6). A partir do conceito de integração e de economia de custos é desejável que isto ocorra. Ao se avaliar economicamente o uso de SFVIA é importante entender que o material fotovoltaico poderá ser usado em substituição ao seu homólogo convencional e, portanto, os custos finais do sistema deverão considerar o custo evitado em função do material a ser substituído. A integração pode ocorrer na própria edificação, tais como coberturas, fachadas, aberturas envidraçadas; integrações anexas tais como elementos de proteção solar; e integrações relacionadas tais como em passarelas externas, mobiliário urbano, paisagismo, equipamentos externos de iluminação, estacionamentos externos cobertos, entre outros. Tomar partido destas possibilidades poderá influenciar nas soluções arquitetônicas adquirindo um papel significativo no projeto e no resultado final.

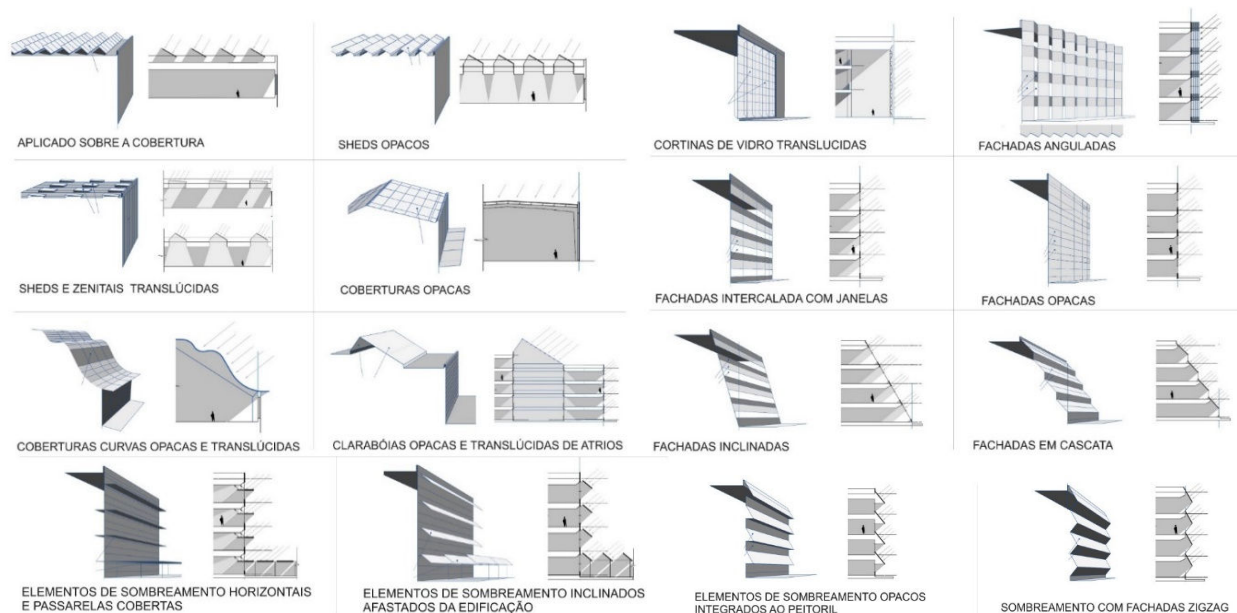


Figura 6: Possibilidades arquitetônicas de aplicação em projetos de SFVIA.  
Fonte: CATHCART, 1993.

Naturalmente os sistemas BIPV terão maior potencial de integração arquitetônica pois a forma volumétrica projetual poderá se adequar a geometria ideal para os módulos, deixando nas intenções do projetista qual aspecto será privilegiado: Desempenho versus estética. Ou seja, a arquitetura e a geração elétrica fotovoltaica poderão encontrar um equilíbrio, e os agentes envolvidos poderão tomar decisões relevando e priorizando conforme suas intenções os aspectos técnicos construtivos, desempenho, econômicos e subjetivos. Ao se optar por um SFVIA existe ainda a possibilidade de divulgação da tecnologia, caso o sistema fique visível aos espectadores ocasionais. O maior potencial para divulgação e efeito estético está principalmente nas faces mais visíveis do corpo edificado, principalmente nas fachadas. O potencial para desempenho e eficiência, no entanto estará na porção superior dos edifícios, mais

propícias à radiação solar. Este paradigma pode ser confrontado por diferentes agentes do processo de decisão, e as interpretações poderão ser variadas quanto a qual aspecto privilegiar, procurando estabelecer um equilíbrio entre estes aspectos.

### DESEMPENHO? – DIVULGAÇÃO? – ESTÉTICA?

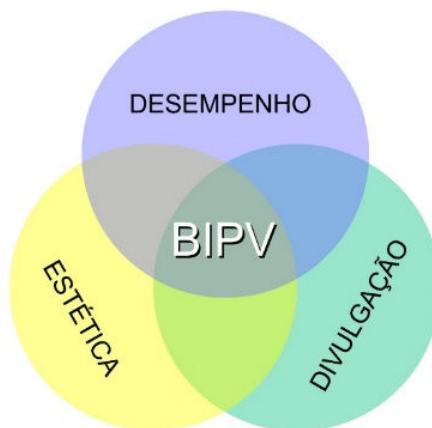


Figura 7: Aspectos de uma integração de sucesso.  
Fonte: SCHMIDT, 2014.

Conforme esta conceituação uma integração de sucesso deverá:

- Alcançar bom desempenho:

Ambiental, tecnológico, elétrico, econômico, construtivo, técnico, funcional, construtivo, , estrutural, segurança, manutenção e substituição de peças.

- Promover maior divulgação:

Demonstrar a tecnologia, deixar o sistema visível, divulgar a sustentabilidade no ambiente construído, fazer a diferença, elaborar um edifício atrativo à mídia, buscar maior alcance social, potencializar a liquidez e valor de venda, promover boas práticas.

- Atentar para qualidade estética:

Valorizar aspectos arquitetônicos, de aparência, efeito, forma, textura, translucidez, volumetria, proporção, cor, modulação, cheios e vazios, elegância, modernidade, contemporaneidade.

HAGEMANN (2004) reforça este conceito afirmando que uma integração BIPV de sucesso seria aquela que proporcionasse a adequada inter-relação entre as questões e de projeto e estéticas, elétricas e energéticas, e conceitos e questões contrutivos e funcionais. Conforme a Figura 8, a integração de sucesso de um BIPV é uma relação simbiótica (SANTOS, 2012).

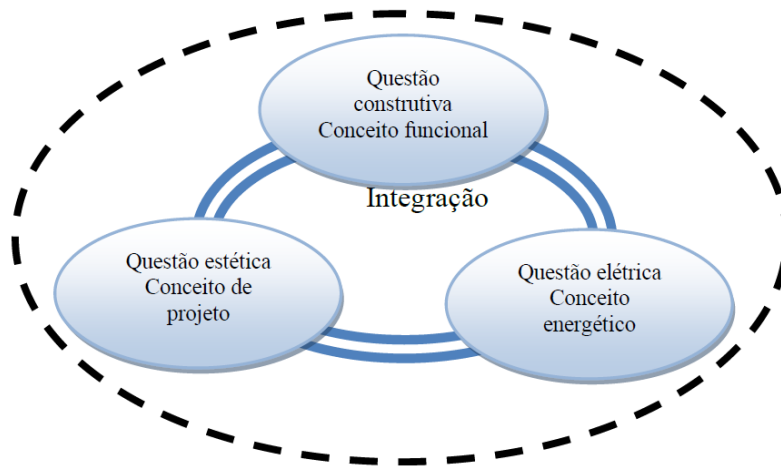


Figura 8: Conceituação holística para o sucesso numa integração FV.

Fonte: HAGEMANN, 2004; adaptado por SANTOS, 2014.

Portanto deve-se avaliar o sistema fotovoltaico não apenas como um gerador de energia, mas como um componente estético e construtivo do edifício, podendo agregar valor comercial, utilizado como um elemento funcional e em substituição aos materiais convencionais de construção. A exploração criativa das soluções fotovoltaicas tem proporcionado aos arquitetos uma abordagem contemporânea do envólucro edificado, demonstrando que o material fotovoltaico não necessita ser um limitante projetual, mas um elemento que abre novas possibilidades estéticas de linguagem arquitetônica. Poderá inclusive contribuir para a transformação da sociedade na busca pelo desenvolvimento sustentável na medida que divulga a possibilidade da geração energética renovável. Os exemplares de integração de sucesso estão surgindo cada vez em maior quantidade e arquitetos ao redor do mundo criam soluções inovadoras e esteticamente interessantes, demonstrando o enorme potencial de integração fotovoltaico agregado ao repertório arquitetônico. Sob a ótica estética e de divulgação tecnológica selecionou-se alguns exemplos edificados buscando perceber de que forma a estética arquitetônica é influenciada pela tecnologia fotovoltaica.



Figura 9: *Solar Fabrik*, Freiburg, Alemanha. Edifício de uma fábrica de painéis fotovoltaicos.

Fonte: NIKOLAUS et al. 2012.

A aparência High Tech está intimamente relacionada aos materiais fotovoltaicos. O exemplo de integração na figura 9 é muito divulgado em publicações do gênero, apontando para uma integração de sucesso. Foram utilizadas células de silício monocristalino e 20% da demanda Elétrica é gerada pelo sistema fotovoltaico. O sistema fotovoltaico cumpre diversas funções. É utilizado para o sombreamento mitigando o aumento da temperatura interna e um importante elemento arquitetônico, assim como um showroom externo visível de divulgação das últimas tecnologias comercializadas pelo fabricante.



Figura 10: Casa Solara in Laax, Suíça, 2012, arquiteto Giovanni Cerfenda.

Fonte: VERBERNEI *et al.*, 2014.

No exemplo da figura 10 painéis são utilizados na fachada em posição vertical (fachada) e desempenhando papel funcional (vedação da envoltória aliada ao revestimento externo) e estético (em contraposição cromática à madeira). Este exemplo residencial demonstra a capacidade de arquitetos em criar soluções elegantes e com aparência discreta aliando materiais tradicionais naturais (madeira) e tecnológicos contemporâneos (painéis fotovoltaicos).



Figura 11: Paul Horn Arena, Tübingen, Alemanha. Arquitetos: Allman & Sattler & Wappner Architekten. Fonte: SWISS BIPV COMPETENCE CENTER. Disponível em: <http://www.bipv.ch/index.php/en/>. Acessado em 14 set. 2015.

Na figura 11 os arquitetos exploraram o potencial cromático verde esmeralda do produto escolhido para criar uma textura cromática na fachada. Ao espectador leigo ocasional a característica fotovoltaica do material pode não estar claramente evidenciada.



Figura 12: *Juwi Head Office*, Bolanden, Alemanha.  
Fonte: HEINSTEIN. 2013.

Nitidamente houve no exemplo da figura 12 uma intenção clara do projetista buscando potencializar a eficiência de captação solar, ao inclinar-se a fachada do edifício com angulação próxima ao ângulo da latitude. A tonalidade azul profunda típica de materiais fotovoltaicos baseados no silício policristalino evidencia a utilização fotovoltaica contribuindo para a divulgação tecnológica.

Na arena esportiva *Umweltarena Spreitenbach* (fig. 13) demonstra-se um exemplo de um edifício que produz 203% da sua demanda elétrica, considerado um edifício *PlusEnergy*. BIPV personalizado de 750 kWp aplicado sobre toda a cobertura que consiste em painéis c-Si com um vidro antirreflexo. (Arquiteto: René Schmid Architekten; provedor de Sistema: 3-S Photovoltaics, Foto de Bruno Helbling). Este exemplo demonstra que composições formais arquitetônicas não precisam necessariamente limitar-se aos aspectos de performance, atingindo uma geração energética superior à demanda do edifício. Neste caso algumas faces desempenham melhor performance que outras e as estratégias de configuração de ligação elétrica costumam separar cada face em subsistemas elétricos pois cada posicionamento terá diferentes rendimentos.



Figura 13: *Umweltarena Spreitenbach*, Suíça, 2012.  
Fonte: HEINSTEIN. 2013.

Elementos de sombreamento fotovoltaicos também são explorados por fornecedores e projetistas, como se observa na Figura 14. O potencial bioclimático aliado a geração energética pode somar benefícios tecnológicos a agregar eficiência a edificação.



Figura 14: Edifício com aplicação de sistemas fotovoltaicos integrados a elementos de sombreamento de fachadas. Local: Alemanha.  
Fonte: SINAPIS, 2013.

## 2.5 Aspectos econômicos e de investimento em um SFVIA

Numa abordagem econômica de sistemas fotovoltaicos, avaliações de investimento dos sistemas de energia geralmente incluem uma avaliação dos benefícios projetados em comparação com os custos estimados do sistema. O custo de sistemas energéticos pode ser medido de diversas maneiras, e cada forma de contabilizar o custo da geração energética traz suas próprias conclusões.

Os custos que podem ser examinados incluem despesas de equipamento (por exemplo, módulos fotovoltaicos e inversores), custos de instalação (Mão de obra, equipamentos) custos de projeto, custos de financiamento e tributação, custos de operação e manutenção (O & M), custos de combustível e o custo nivelado de energia (LCOE) (IRENA, 2012). O benefício financeiro direto de um sistema fotovoltaico é essencialmente o valor da energia gerada. (IEA, 2002):

Benefícios projetados = Valor da eletricidade gerada.

Custos estimados = Custos Capitais + Custos periódicos + custos de substituição.

Na projeção dos benefícios o custo da tarifa em kW/h multiplicado pela produção energética estimada do sistema (projetado numa análise temporal em anos) resultará num valor de custo capital evitado em tarifas pagas, basicamente ocorrerá a redução da energia elétrica consumida. A tarifa tenderá a aumentar no decorrer do tempo de vida útil do sistema (dependerá das políticas públicas de cada local ou país e dos interesses das concessionárias, uma taxa de correção da energia deve ser considerada baseada em um retrospecto histórico projetando-se

um cenário futuro). A produção energética porém, tenderá a diminuir gradativamente com a degradação do sistema (geralmente os sistemas fotovoltaicos tem redução na eficiência de cerca de 0,5% ao ano).

Os custos capitais incluem basicamente os custos de instalação (material e mão-de-obra), projetos e custos burocráticos de ligação com a rede elétrica. Custos periódicos incluem por exemplo manutenção de componentes e limpeza de painéis. Custos de substituição referem-se a componentes que necessitam ser substituídos por defeitos ou devido ao fim da vida útil de um determinado componente. Inversores geralmente precisam ser substituídos num intervalo de 5 a 10 anos, dependendo do fabricante.

Portanto quanto maior for a quantidade de energia gerada por um sistema em relação ao seu custo final, mais viável será o investimento tecnológico.

Geralmente investidores usam alguma forma de análise quantitativa para avaliar o retorno econômico de um determinado investimento. Entre os métodos de análise econômica utilizados para avaliar um sistema energético pode-se citar: *payback* simples, *payback* descontado, valor presente líquido, taxa de retorno, taxa de atratividade e custo nivelado da energia (LCOE). Cada método possui suas vantagens e limitações, mas como em qualquer investimento deve haver uma estimativa do resultado financeiro, pois em diferentes sistemas monetários, países e situações um mesmo sistema poderá ou não ser viabilizado economicamente.

Considerando-se o cenário energético nacional brasileiro, com elevação continua dos valores de tarifas e inflação significativamente alta, estes fatores devem ser levados em consideração. O aumento do valor da tarifa energética aumentará a viabilidade econômica do investimento em sistemas fotovoltaicos pois aumentará o benefício ao longo do tempo em função do custo evitado. No Brasil investimentos em sistemas fotovoltaicos estão também sujeitos às variações cambiais, uma vez que muitos dos componentes de sistemas fotovoltaicos são importados e renumerados em dólar. Somado ao fato de que o país ainda é deficiente em políticas de incentivo fiscal ou de crédito, o investimento em sistemas energéticos fotovoltaicos no Brasil não é ainda muito atrativo para investidores, principalmente se comparado a outras possibilidades de investimento com melhor retorno financeiro. A análise comparativa entre possibilidades de retorno de investimento de SFVIAs versus por exemplo Ouro ou; cambial ou; tesouro Direto ou; Juros bancários; etc., geralmente tende a ser desvantajosa para a fotovoltaica.

## CAPITULO 3 - METODOLOGIA

### 3.1. PROPOSTA ARQUITETÔNICA PARA UM ESTUDO DE CASO

Entende-se que os métodos e ferramentas computacionais para dimensionamento arquitetônico e de sistemas fotovoltaicos integrados a arquitetura devem ser adequados a qualquer situação, portanto foi estipulada uma situação hipotética projetual afim de se testar a ferramenta por meio de um estudo de caso, atentando-se para as estratégias anteriormente citadas buscando atingir: desempenho, estética e divulgação.

Algumas situações urbanas são muito desfavoráveis a implantação de SFVIA e devem ser evitadas com por exemplo:

- Vizinhança não consolidada pois implantar SFVIA ao lado de lotes vazios pode futuramente prejudicar o rendimento do sistema uma vez que prever as dimensões das futuras edificações vizinhas é uma variável a princípio incontrolável;
- Edificações vizinhas muito altas;
- Excesso de poluição atmosférica,
- Vertentes desfavoráveis (vertente sul para Curitiba por exemplo).

Portanto procurou-se simular uma situação urbana favorável ao desempenho técnico e por consequência a potencializar a viabilidade econômica do sistema.

A estratégia de metodologia para pré-dimensionamento do projeto seguiu a seguinte sequência metodológica proposta:

- 1-Definição de um sítio de implantação hipotético, seleção e aplicação de ferramenta para modelagem tridimensional;
- 2-Elaboração de um estudo de massas baseado em parâmetros urbanísticos preestabelecidos e aplicação de ferramenta para modelagem tridimensional;
- 3-Simulação e análise do potencial de radiação por meio da aplicação de atributo específico da ferramenta operacional selecionada;
- 4-Simulação e identificação da incidência de sombras no modelo proposto conforme orientação e período sazonal, aplicando-se atributo específico da ferramenta operacional com capacidades de visualização da trajetória aparente do sol no zênite do local;
- 5-Aplicação de estratégias geométricas na volumetria proposta visando potencializar a geração energética;
- 6-Nova simulação e identificação da incidência de sombras no modelo proposto conforme orientação e período sazonal, aplicando-se atributo específico da ferramenta operacional com capacidades de visualização da trajetória aparente do sol no zênite do local;
- 7-Simulação quantitativa do sombreamento anual incidente sobre o sistema fotovoltaico proposto por meio de ferramenta com a capacidade para tal;
- 8-Simulação energética por meio de ferramenta operacional específica;
- 9-Análise dos resultados.

### 3.1.1. Definição do sítio de implantação – aplicação da ferramenta *SketchUp*

A elaboração de um sítio hipotético tem por objetivo facilitar o desenvolvimento da proposta arquitetônica e da aplicação do método. Em situações reais outros fatores terão impacto na criação de uma proposta arquitetônica. A avaliação de um sítio real envolveria medições in loco, levantamentos topográficos, questões legais e jurídicas e de certa forma são irrelevantes para o desenvolvimento do trabalho. Como o trabalho atenta principalmente para questões envolvendo SFVIAs alguns aspectos foram desconsiderados tais como: valor do terreno, topografia, viabilidade comercial do empreendimento, orçamento de construção, acessibilidade, mobilidade entre outros que fazem parte das avaliações iniciais em uma situação real. De qualquer forma a situação urbana proposta (fig. 15 e fig 16) se assemelha a uma situação real e, portanto, pode ser considerada válida neste nível de avaliação.



Figura 15: Visualização 2D em projeção horizontal do sítio proposto. *Software: SketchUp*  
Fonte: Autor.

Considerou-se necessário, no entanto estipular-se um município real devido as características de radiação serem dependentes da localização geográfica, afim de se obterem dados reais de radiação.

Os seguintes fatores foram estabelecidos:

- $L_T$ , Largura do terreno = 25m.
- $C_T$ , comprimento do terreno = 50m.
- $A_T$  = Área do terreno calculado pela fórmula =  $L_t \times C_t = 1.250m^2$ .
- Município: **Curitiba**. (Local da realização da pesquisa).
- Parâmetros urbanísticos:

$C_a$ , Coeficiente máximo de aproveitamento = 4. Utilizado para determinar a área máxima computável do edifício.

$A_{DIV}$ , Afastamento das divisas =  $H/6$ . Representa o afastamento mínimo, exigido pelo parâmetro urbanístico, entre a edificação e às divisas do terreno

$T_o$ ; Taxa de ocupação = 50%. Representa o percentual máximo de ocupação do maior pavimento em relação a área do terreno.

- Localização: **urbana**. Lotes e edificações urbanas tem enorme potencial para aplicação de sistema fotovoltaicos, principalmente por concentrarem os maiores investimentos e crescimentos em construção civil, além de possuir maior potencial para divulgação de tecnologias devido ao maior potencial de visualização por espectadores ocasionais e pela mídia geral.

- Situação: em **esquina**. Lotes de esquina possuem elevado potencial para aplicação de SFVIA pois estão menos sujeitos à sombreamentos e obstrução de energia solar de edificações vizinhas por exemplo.

- Orientação: testada do lote com maior dimensão horizontal com **desvio azimutal NO 30°**. O desvio foi estipulado com a intenção de se aproximar de uma situação onde o edifício não tenha necessariamente uma situação ideal de desvio azimutal (N 0°).

- Vizinhança: Elaborou-se uma vizinhança com **alta densidade edificada**, assimilando-se a um típico **distrito comercial**. Opostamente a testada de maior dimensão foi prevista uma área não edificada coberta com vegetação de porte médio, assimilando-se a um parque ou **praça urbana**.

- Vias públicas: Caixa de rua com **20m** de largura.

- Dimensões do lote: Testada NE com 25m, testada NO com 50m, totalizando 1.250m<sup>2</sup> de área disponível.



Figura 16: Visualização 3D isométrica do sítio proposto com a localização do lote (em verde forte) a partir da orientação norte. *Software: SketchUp.*  
Fonte: Autor.

### 3.1.2. Modelagem do estudo de massas - aplicação da ferramenta *SketchUp*

Para estipular as dimensões volumétricas do edifício previram-se limitações com base em parâmetros urbanísticos. Os dados de parâmetros urbanísticos são encontrados em documentos e informações disponibilizadas por prefeituras e demais órgãos públicos, em documentos denominados como “guia-amarela” ou “viabilidade de construção” e/ou na legislação tais como legislação urbanística, uso e ocupação do solo, plano de ocupação territorial entre outros. Existem diferenças entre os procedimentos em cada órgão públicos, para cada caso os parâmetros devem ser observados.

O tipo de edificação selecionado para aplicar o método foi um edifício de escritórios corporativos. Sistemas fotovoltaicos são interessantes para este tipo de edificação pois permitem que a energia gerada seja utilizada nos períodos de maior demanda. Edifícios comerciais comumente tem demanda de pico durante o dia, conforme o período de maior movimento de usuários e conseqüentemente maior utilização de aparelhos eletrônicos, computadores, climatização, elevadores etc. O período diurno é fator preponderante para geração elétrica fotovoltaica. Mesmo em condições desfavoráveis como por exemplo nebulosidade e chuva os painéis produzem energia baseada na radiação difusa e de albedo, no entanto no período noturno a produção é inexistente (URBANETZ, 2014).

Considerando-se as dimensões do lote e parâmetros propostos foram calculadas as seguintes dimensões do edifício seguindo parâmetros urbanísticos pré-estabelecidos:

**1-Área máxima computável**, calculada pela fórmula:

$$A_{cmax} \leq C_a \times A_t$$

$$6000 \leq 4 \times 1.250$$

Sendo:

$A_{cmax}$  = Área máxima computável. (m<sup>2</sup>)

$C_a$  = Coeficiente máximo de aproveitamento.

$A_T$  = Área do terreno. (m<sup>2</sup>)

O conceito de área computável varia para cada município, mas basicamente define por exemplo espaços como: áreas de apoio, vazios e dutos, estacionamento coberto, escadas enclausuradas, etc., como áreas não computáveis. As demais são consideradas áreas computáveis. O termo computável refere-se conforme a legislação de Curitiba como áreas que serão computadas no cálculo de coeficiente de aproveitamento. O coeficiente de aproveitamento é utilizado para definir a área máxima computável permitida, e que somada as áreas não-computáveis estabelece a área construída. Para demais informações deve-se consultar a legislação do município (Curitiba: <http://www.curitiba.pr.gov.br/>. Acessado em 16/09/2015).

**2- Área máxima de ocupação** (projeção da área do maior pavimento ao nível no solo) do pavimento tipo calculado pela fórmula:

$$A_{\text{tipomax}} \leq A_t \times T_o$$

$$625\text{m}^2 \leq 1.250 \times 50\%$$

$A_{\text{tipomax}}$ ; Área máxima de projeção do maior pavimento. (m<sup>2</sup>)

$A_t$ ; Área do terreno. (m<sup>2</sup>)

$T_o$ ; Taxa de ocupação. (%)

A área máxima de projeção representa a quantidade de área do terreno que poderá ser coberta pelos pavimentos acima. Para o edifício proposto definiu-se que os pavimentos tivessem no máximo 600m<sup>2</sup>, não havendo diferenciação volumétrica configurando base e torre por exemplo.

**3-Número de pavimentos** calculado pela fórmula:

$$N_{\text{pav}} = A_c / A_{\text{tipo}}$$

$$10 = 6.000 / 600$$

$N_{\text{pav}}$ ; Quantidade de pavimentos.

$A_c$  = Área máxima computável em metros quadrados. (m<sup>2</sup>)

$A_{\text{tipo}}$ , Área do pavimento tipo. (m<sup>2</sup>)

**4-Altura da edificação** calculada pela fórmula;

$$H = P_d \times N_{\text{pav}}$$

$$30 = 3 \times 10$$

$H$ ; Altura máxima da edificação. (m)

$P_d$ ; Diferença de desnível entre pavimentos. (m)

$N_{\text{pav}}$ ; Número de pavimentos.

A área máxima de projeção representa a quantidade de área do terreno que poderá ser coberta pelos pavimentos acima. Para o edifício proposto definiu-se que os pavimentos tivessem no máximo 600m<sup>2</sup>, não havendo diferenciação volumétrica configurando base e torre por exemplo. O número de pavimentos foi calculado sendo o resultado da divisão entre área total máxima computável e a área do pavimento tipo.

**5-Afastamento das divisas** calculada pela fórmula:

$$A_{\text{DIV}} \leq H / \text{Coef.}$$

$$5 \leq 30 / 6$$

$A_{\text{DIV}}$ ; Afastamento das divisas. (m)

$H$ ; Altura da edificação. (m)

Coef. = 6

O afastamento das divisas representa a mínima dimensão horizontal em metros medida desde as divisas do lote aos limites do envólucro da edificação.

6- **Dimensões do pavimento tipo** calculado pela fórmula:

$$A_{\text{tipo}} = L \times C$$

$$600 = 15 \times 40$$

$A_{\text{tipo}}$ , Área do pavimento tipo. (m<sup>2</sup>)

$L$ ; Largura do pavimento tipo. (m)

$C$ ; Comprimento do pavimento tipo. (m)

Verificando-se o afastamento das divisas:

$$L_t \leq L + (A_d \times 2)$$

$$25 \leq 15 + (5 \times 2)$$

$$C_t \leq C + (A_d \times 2)$$

$$50 \leq 40 + (5 \times 2)$$

$A_{\text{DIV}}$ ; Afastamento das divisas. (m)

$L_T$ , Largura do terreno. (m)

$L$ ; Largura do pavimento tipo. (m)

$C_T$ , Comprimento do terreno. (m)

$C$ ; Comprimento do pavimento tipo. (m)

Os resultados foram aplicados na modelagem tridimensional utilizando-se a ferramenta

*SketchUp*, conforme demonstrado na figura 17

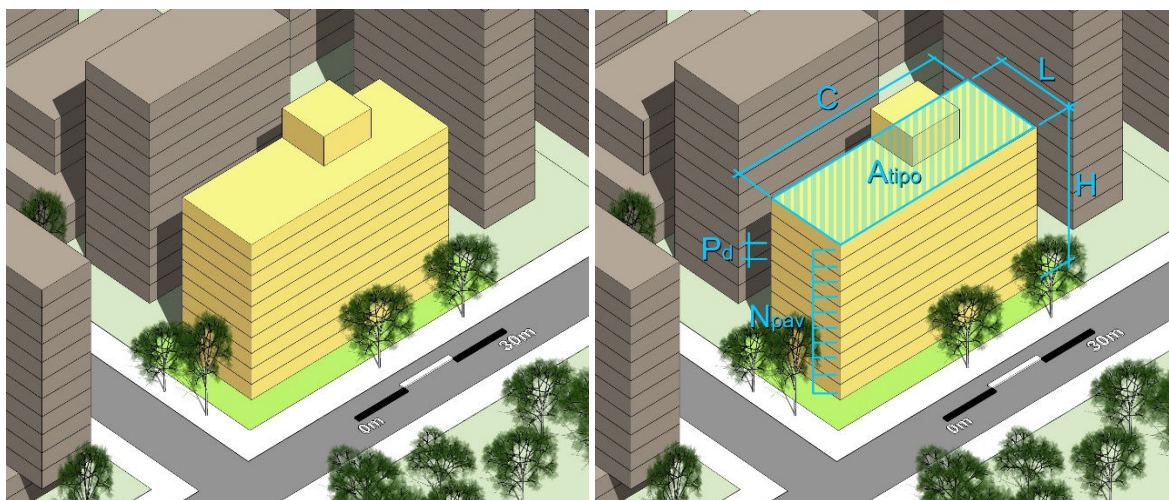


Figura 17: Resultado volumétrico do estudo teórico de massas, baseado em parâmetros urbanísticos.

Softwares utilizados: *SketchUp* e *Corel Photo-Paint*.

Fonte: Autor.

Resumo das dimensões:

$L$ ; Largura do pavimento tipo = 15m.

$C$ ; Comprimento do pavimento tipo = 40m.

$A_{\text{tipo}}$ , Área do pavimento tipo = 600m<sup>2</sup>.

$N_{\text{pav}}$ ; Número de pavimentos = 10.

$A_{\text{cmax}}$  = Área máxima computável = 6.000m<sup>2</sup>.

$P_d$ ; Diferença de desnível entre pavimentos = 3m.

$H$ ; Altura da edificação = 30m.

Previu-se adicionalmente um volume técnico afim de se abrigarem funções como casa de máquinas e reservatório elevado por exemplo, afim de se aproximar a edificação de um projeto real.

### 3.1.3. Simulação do potencial de radiação e identificação da incidência sombreamento

Utilizando os *softwares SketchUp e Corel Photo-Paint* foram elaborados gráficos cromáticos baseado em simulações computacionais demonstrando-se interpolação de máscaras de sombreamento para identificar as regiões do edifício com melhor potencial solar. A análise foi realizada com base em visões tridimensionais, a partir do azimuth N (esquina), com variáveis sazonais e temporais para o ano de 2015 no hemisfério sul. As duas ferramentas computacionais se demonstraram úteis na previsão do potencial de insolação direta. O *SketchUp* permite simular o movimento aparente do sol no zênite planetário desde que o modelo seja configurado corretamente em relação as coordenadas geográficas, permite também o geo-referenciamento. Foram estabelecidas 3 situações temporais (Figura 18), os solstícios pois representam a melhor e a piores situações de radiação direta, assim como um equinócio, neste caso o início do outono excluindo-se o início da primavera, por ser considerar redundante a análise de trajetória solar nos dois equinócios. Está análise é básica mas permite uma estimativa aceitável para se avaliar o potencial solar. É possível, no entanto, realizar estudos mais detalhados em maior quantidade de situações e intervalos temporais, demandando, porém, mais tempo para realizá-los.

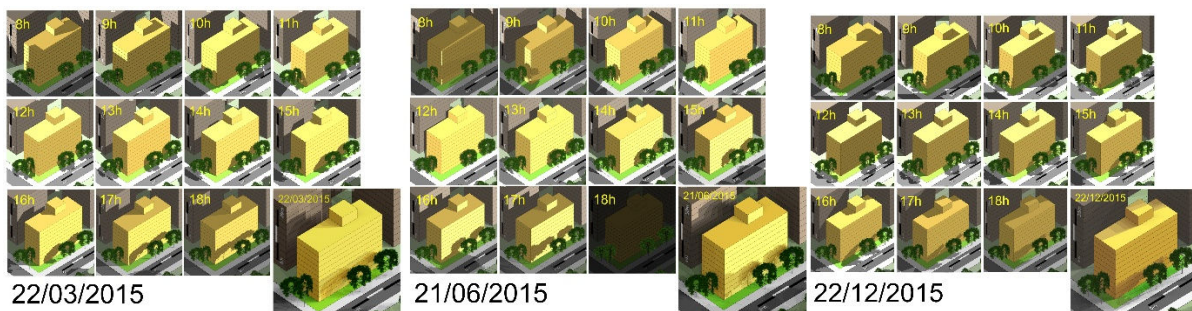


Figura 18: Simulação quadro a quadro do volume sob os efeitos da trajetória aparente do sol. O potencial de radiação pode ser estimado conforme a tonalidade cromática (mais claro mais radiação), e estimativa visual da incidência sombreamento. Ao final da series a ilustração demonstra a sobreposição das imagens. Local: Curitiba, PR, Brasil - 25°25'47'' S /49°16'19'' O. GMT -03:00h. Máscara de sombras em intervalos de 60 minutos medidos das 9h às 17h. *Software: SketchUp*.  
Fonte: Autor.

Utilizando o software *Corel Photo-Paint* foram posteriormente reunidas e sobrepostas as imagens em único arquivo, referentes à cada estação climática e horários, gerando uma visualização cromática onde o potencial da radiação será maior quanto mais claro for a tonalidade resultante. Percebe-se no solstício de verão que o maior potencial de radiação está na cobertura, ou seja, nos planos horizontais enquanto que no solstício de inverno que o maior potencial de radiação está na fachada noroeste. No equinócio de outono a radiação entre a fachada noroeste e a cobertura fica mais equilibrada. Nota-se nos pavimentos inferiores da fachada noroeste sombreamento parcial decorrente da presença de árvores no passeio. No entanto constataram-se sombras causadas pelo volume previsto para instalações técnicas e por edificações vizinhas o que poderá prejudicar o desempenho do sistema (fig. 19).



Figura 19: Simulação de sombreamento conforme trajetória aparente do sol entre as 8h e 18h, comparativo de potencial de radiação solar de incidência de sombreamento para as 3 datas selecionadas. Local: Curitiba, PR, Brasil - 25°25'47" S /49°16'19" O. GMT -03:00h. Máscara de sombras em intervalos de 60 minutos medidos das 8h às 18h. Softwares: *SketchUp* e *Corel Photo-Paint*.  
Fonte: Autor.

Percebe-se no solstício de inverno que o maior potencial de radiação está na fachada noroeste e na cobertura um potencial maior. Nota-se nos pavimentos inferiores da fachada noroeste sombreamento parcial decorrente da presença de árvores no passeio. Com base nos gráficos gerados pode-se identificar cromaticamente as regiões com maior potencial radiante, sendo as áreas mais claras aquelas com maior potencial de desempenho. A cobertura possui perceptivamente um bom potencial de radiação e desempenho embora com incidência de sombreamento, mas com menor potencial de divulgação e estética. A fachada noroeste possui bom potencial de desempenho, e excelente potencial de divulgação e estética, assim como a fachada nordeste embora com o menor potencial de radiação direta incidente.

### 3.2. EMPREGO DE ESTRATÉGIAS GEOMÉTRICAS VISANDO POTENCIALIZAR GERAÇÃO ENERGÉTICA

A análise de potencial de radiação solar e sombreamento permite levar a novos estudos volumétricos afim de se potencializar regiões e faces mais privilegiadas do edifício. Como

consequência poderá se optar por recortes ou inclinações mais favoráveis visando captar mais radiação. No estudo foi proposto uma inclinação de 60° na fachada dos 3 últimos pavimentos e de 50° no volume técnico afim de se aumentar o potencial de geração energética (ver fig. 20). A diminuição de L (largura do pavimento) dos dois últimos pavimentos – 3,63m no 10º pav. e 1,73m no 9º pav. - em função de C (comprimento do pavimento) – 40m -, resultou numa diminuição de área de 212,4m<sup>2</sup> na área total e computável da edificação. Esta área representa uma diminuição de 3,54% da área total computável prevista de 6.000m<sup>2</sup>.

#### **Redução de área calculada pela fórmula:**

$$C \times (R_{10} + R_9) = R_a$$

$$15 \times (3,63 + 1,73) = 212,4$$

C, comprimento do pavimento tipo. (m)

R<sub>10</sub>; Redução da largura do piso do 10º pavimento. (m)

R<sub>9</sub>; Redução da largura do piso do 9º pavimento. (m)

R<sub>a</sub> = Redução de área prevista. (m<sup>2</sup>)

#### **Área computável, calculada pela fórmula:**

$$A_c = A_{cmax} - R_a$$

$$5.787,6 = 6000 - 212,4$$

$$R_a = R_a / A_{cmax}$$

$$3,54 = 212,4 / 6.000$$

A<sub>c</sub> = Área computável. (m<sup>2</sup>)

A<sub>cmax</sub> = Área máxima computável. (m<sup>2</sup>)

R<sub>a</sub> = Redução de área prevista. (m<sup>2</sup>)

Essas estratégias buscaram impactar moderadamente no volume do edifício e visam além de potencializar o desempenho evitar diminuição excessiva de área computável o que por ventura poderia prejudicar a viabilidade comercial do empreendimento. Os pavimentos mais altos do edifício costumam ter maior valor agregado e tem valor de venda ligeiramente elevado em relação aos inferiores, dependendo da região. Portanto a estratégia deve procurar um equilíbrio entre as intenções comerciais e construtivas em conjunto com as estratégias para desempenho, divulgação e estética. Conforme o entendimento de buscar equilíbrio entre os aspectos mencionados a diminuição de área em 3,54% foi considerado aceitável para continuidade do projeto (fig. 20).

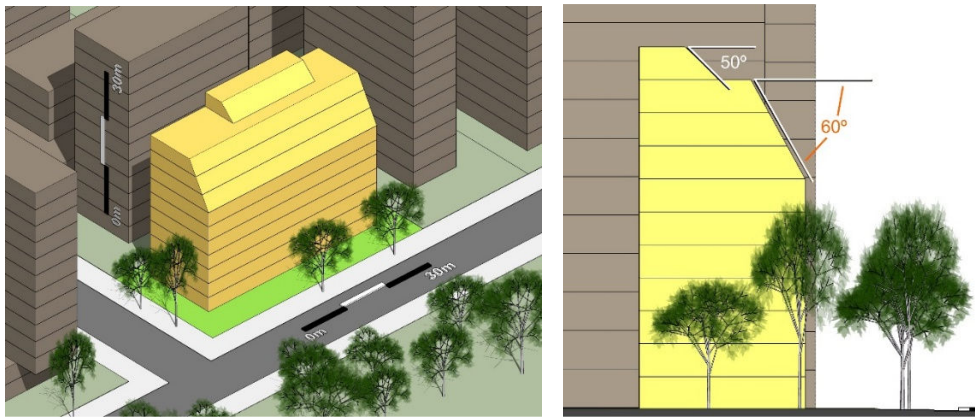


Figura 20: Modelo 3D com ajustes volumétricos propostos.  
Softwares utilizados: SketchUp e Corel Photo-Paint.  
Fonte: Autor.

O modelo com os ajustes propostos foi então novamente submetido a análise de potencial de radiação e sombreamento conforme a trajetória aparente do sol no zênite de Curitiba. As novas avaliações permitiram reavaliar o maior potencial energético da nova estratégia compositiva face a face (ver fig. 21).



Figura 21: Modelo 3D com ajustes volumétricos propostos. Mascaras de sombra e intensidade da radiação por análise cromática de tonalidade. Softwares utilizados: SketchUp e Corel Photo-Paint.  
Fonte: Autor.

Verificou-se que a estratégia teve efeitos positivos na fachada inclinada dos 3 últimos pavimentos. No volume técnico, no entanto houve incidência de sombreamento de edificações vizinhas a partir das 16h no solstício de verão, o que poderá reduzir a geração elétrica desta face neste período. Avalia-se que desenvolvimento de maior quantidade de estratégias compositivas poderão potencializar ainda mais a geração energética. Análises mais numerosas dependerão, no entanto de cada caso e de várias condicionantes de tempo e monetárias para o investidor.

Neste caso consideraram-se suficientes os estudos realizados e aceitáveis as estratégias propostas. As superfícies foram denominadas pela letra “F” (Face ativa) diferenciadas cromaticamente e por um algarismo. Tem-se, portanto, F1 azul, F2 vermelha e F3 verde. A partir dos conceitos para atingir o sucesso na integração fotovoltaica as superfícies foram avaliadas numa análise perceptiva preliminar quanto ao seu potencial de divulgação e desempenho elaborando-se um quadro comparativo entre seus potenciais (fig. 22).



Figura 22: Esquerda: Definição das faces que poderão receber o material fotovoltaico. Direita: O potencial percebido conforme análise desempenho e divulgação.

Fonte: Autor.

Para realizar a simulação da quantificação de sombreamento a ferramenta selecionada foi o software SAM - *System Advisor Model* (Modelo para aconselhamento de sistemas) disponibilizado pela instituição NREL – *National Renewable Energy Laboratory*. Dentre os atributos do SAM está a modelagem tridimensional de formas geométricas simples, faces ativas, e árvores (fig. 23). Primeiramente foi definida a localização do modelo no software selecionando-se Curitiba como o local de análise. Acionando-se os comandos “*Shading and Snow / 3D shade calculator*”, a modelagem 3D baseia-se na inserção de dimensões conforme eixos de coordenadas horizontais (x para norte/sul, e y para leste/oeste) e verticais (z) inserindo-se valores absolutos (sem definição de sistema de medição em metros ou polegadas por exemplo), valores de azimute e inclinação das faces e volumes. O usuário pode criar formas geométricas simples tais como prismas (representadas na cor vermelha), formas complexas assimiladas a árvores (marrom e verde) e consideraram-se, portanto, suficientemente satisfatórias as possibilidades do software em relação a modelagem elaborando-se então o

conjunto urbano volumétrico conforme o modelo preestabelecido inserindo apenas os volumes com incidência de sombreamento nas superfícies conforme os estudos anteriores.

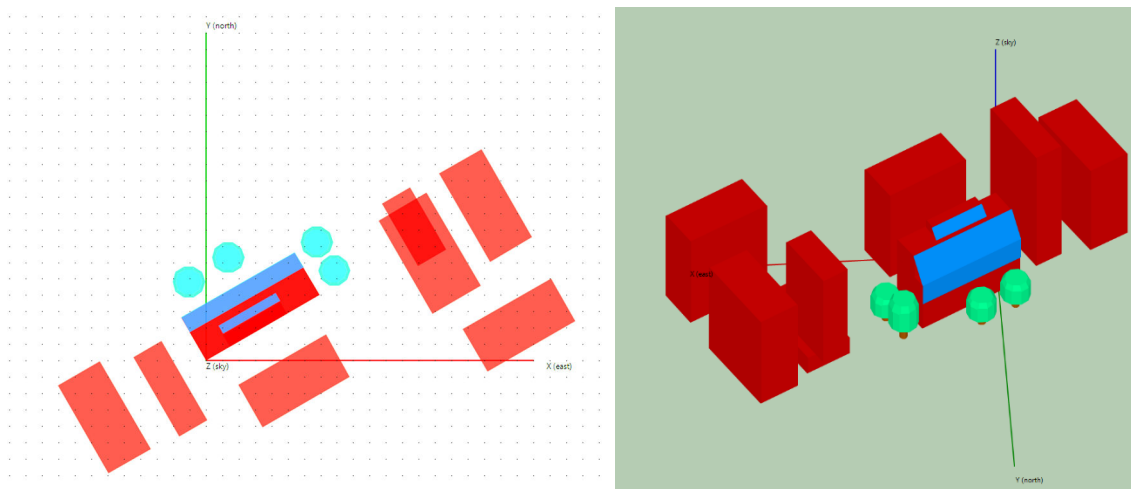


Figura 23: Projeção de topo do modelo e visualização em 3D elaborado no software SAM (System Advisor Model).

Fonte: Autor.

Cada face foi analisada com o atributo específico da ferramenta, denominado “*analyse/diurnal analysis*”, que permite simular a estimativa quantitativa de sombreamento, conforme mês e horário, gerando um gráfico para cada face. O atributo além de fornecer uma avaliação do potencial de sombreamento de forma cromática (mais vermelho = maior sombreamento, mais claro = menor sombreamento) fornece para cada campo um valor em percentual, variando de 0% à 100%. A tabela é dividida em intervalos horizontais a cada 60 minutos (de hora em hora totalizando 23 horas) e intervalos verticais com os meses do ano. Portanto é possível estimar o percentual de sombreamento conforme a sazonalidade (Tabela 1). É importante destacar que o atributo oferece o dado de sombreamento do sistema como um todo, e, portanto, a simulação foi executada para cada face ativa independentemente, mas no mesmo espaço e características de modelagem tridimensional. Para que a análise pudesse ser realista o modelo foi geolocalizado em Curitiba, cujos dados estavam previstos na ferramenta.

**F1**

Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.377873	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	13.5152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	36.0919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	100	100	16.6693	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	1.39879	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	13.0678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	56.5268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	14.7079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	0.0380648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.569178	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.1831	100	100	100	100	100

**F2**

Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm	
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	2.10111	22.3184	81.9136	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.97865	100	100	100	100	100	
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
May	100	100	100	100	100	100	100	100	0.966373	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	30.1289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	30.3783	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.14862	20.6658	90.6646	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0.170998	13.8893	53.5601	100	100	100	100	100	100	

**F3**

Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.0864759	0	0	0	0	0	0	0	0	6.38599	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	1.95438	0.116213	0	0	0.0250063	0	0	0	0	0.780292	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	100	100	8.13853	2.4318	0.0312219	0	0	0	0	0	0	4.69691	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	10.3171	2.75671	0.0358653	0	0	0	0	0	0.00316447	5.24215	100	100	100	100	100	
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	10.8325	3.21179	0.106696	0	0	0	0	0	0	4.00197	100	100	100	100	100	
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	2.64964	0.155673	0	0	0	0	0	0	0	1.59263	100	100	100	100	100	
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0.0663981	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0.187585	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100

Tabela 1: Simulação quantitativa mensal e horária (%) da incidência se sombras nas superfícies. Simulação das faces ativas realizada no *software* SAM NREL em 21 set. 2015.  
Fonte: Autor.

Para a aplicação dos dados na ferramenta de estimativas energéticas (BIPV DESIGN) os dados necessitam estar mensurados numa análise anual e entendeu-se que é necessário elaborar uma média do sombreamento. Os dados foram então transferidos para outra ferramenta (Microsoft Excel) extraindo-se, porém, apenas os dados horários das 8h às 18h (excluindo-se, portanto, horários noturnos), estabelecendo-se uma soma e uma média anual das porcentagens. Verificou-se para F1 e F2 sombreamento abaixo de 10% enquanto que para F3 obteve-se uma média superior a 20% (tabela 2).

F1	MÉDIAS DE SOMBREAMENTO CONFORME MÊS E HORÁRIO DO DIA (%)												SOMA MENSAL	MÉDIA MENSAL
	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H			
JAN	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	100,38	9,13
FEV	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	9,09
MAR	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,50	1,23
ABR	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	136,00	12,36
MAI	16,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	116,60	10,60
JUN	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	101,40	9,22
JUL	13,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	113,06	10,28
AGO	56,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	156,52	14,23
SET	14,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	114,70	10,43
OUT	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,04	9,09
NOV	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	100,57	9,14
DEZ	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	110,18	10,02
SOMA HORÁRIA	551,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	711,13	SOMA ANUAL	1262,95
MÉDIA HORÁRIA	45,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,26	MÉDIA ANUAL	9,57

F2	MÉDIAS DE SOMBREAMENTO CONFORME MÊS E HORÁRIO DO DIA (%)												SOMA MENSAL	MÉDIA MENSAL
	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H			
JAN	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	22,32	81,91	206,33	18,76
FEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,98	7,98	0,73
MAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ABR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	9,09
MAI	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,97	9,18
JUN	30,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	130,13	11,83
JUL	30,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	130,38	11,85
AGO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	9,09
SET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	9,09
OUT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	9,09
NOV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	20,67	90,66	112,48	10,23
DEZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	13,89	53,56	100,00	167,62	15,24
SOMA HORÁRIA	161,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	17,14	96,54	980,55	SOMA ANUAL	1255,88
MÉDIA HORÁRIA	13,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,43	8,05	81,71	MÉDIA ANUAL	9,51

F3	MÉDIAS DE SOMBREAMENTO CONFORME MÊS E HORÁRIO DO DIA (%)												SOMA MENSAL	MÉDIA MENSAL
	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H			
JAN	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	36,36
FEV	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	300,00	27,27
MAR	100,00	100,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,38	206,47	18,77
ABR	100,00	1,95	0,12	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	100,00	202,87	18,44
MAI	8,13	2,43	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	100,00	111,29	10,12
JUN	10,31	2,76	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	100,00	118,35	10,76
JUL	10,83	3,21	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	100,00	118,15	10,74
AGO	100,00	2,65	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	100,00	204,40	18,58
SET	100,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	200,07	18,19
OUT	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	300,00	27,27
NOV	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	300,18	27,29
DEZ	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	36,36
SOMA HORÁRIA	929,27	613,00	400,60	200,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	12,31	706,56	SOMA ANUAL	2861,76
MÉDIA HORÁRIA	77,44	51,08	33,38	16,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	58,88	MÉDIA ANUAL	21,68

Tabela 2: Porcentagens horárias e mensais de sombreamento, e suas respectivas médias e somas, cálculos realizados no *Software: Microsoft Excel*.

Fonte: autor.

### 3.3. ESTIMATIVA ENERGÉTICA, AMBIENTAL E CUSTOS DE INSTALAÇÃO - APLICAÇÃO DA FERRAMENTA BIPV DESIGN

A ferramenta selecionada está disponível online pelo endereço eletrônico da internet <http://tecnando.com/bipvdesign/> e foi acessada entre 17/09/2015 e 25/09/2015. Conforme informações da página a ferramenta é parte de um doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC de autoria da pesquisadora Isis Portolan dos Santos (SANTOS, 2014). Conforme a tela inicial a ferramenta está em fase de testes o que contribui para justificar sua aplicação, de modo que o presente trabalho possa de alguma forma contribuir para o aperfeiçoamento da ferramenta. A tela inicial contém informações preliminares informando primeiramente os atributos do software:

- 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.



**BIPV**  
design

Início Login

## 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.

**Cadastre-se**

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:  
isisporto@gmail.com

Layout by Rocket Website Templates

Copyright © 2015 Fernando Afonso Hartmann

Figura 24: Tela inicial do software BIPV Design.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Após executar o comando “projeto” abre-se uma área específica para inserção de dados. No menu superior são disponibilizadas 7 abas de interação do usuário sendo elas: Início; Edificações; Área disponível; Tipos de módulos; Estimativa de geração; e Estimativa de custos.

### 3.3.1. Determinação do local, radiação e sombreamento.

O primeiro dado inserido é o título do projeto, denominado neste caso “Comercial 01”. Em seguida o usuário necessita definir a localização ou cidade mais próxima. É disponibilizada neste campo uma lista com as capitais brasileiras e o município de Curitiba foi selecionado.

Após esta seleção abre-se o “ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Curitiba- PR” informando a máxima radiação recebida conforme azimute e inclinação da superfície conforme dados previamente estudados do programa RADIASOL (UFRS), entendendo-se que as áreas mais claras em amarelo representam o maior potencial, ou seja, 100% da radiação máxima para Curitiba. O ábaco possui na escala horizontal informações do azimute em graus variando de -180° a 180° conforme o ponto cardeal. Na escala vertical do ábaco estão indicadas informações do ângulo de inclinação em graus, variando de 0° a 90°. A ferramenta apresenta ainda informações procurando orientar o usuário quanto as melhores geometrias procurando atingir melhor rendimento. Lateralmente é exibido um campo de resumo contendo dados, que nesta etapa da aplicação ainda não estão definidas (fig. 25).

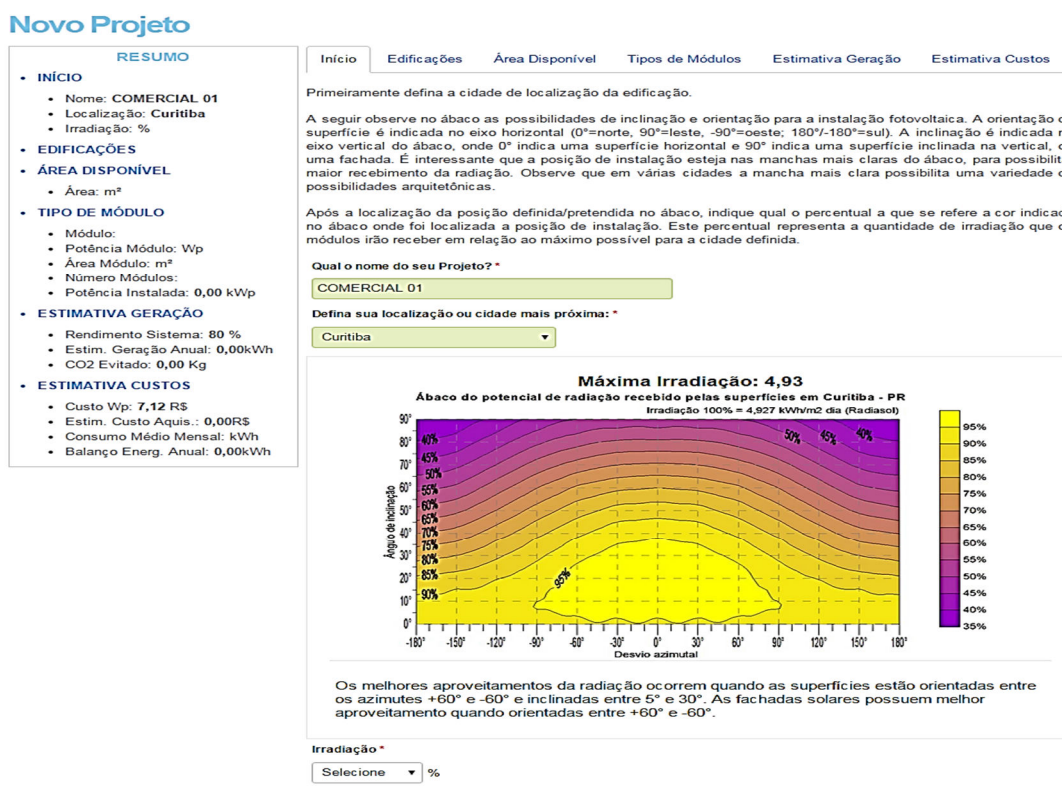


Figura 25: Tela de configuração inicial da ferramenta.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Abaixo do ábaco de radiação o usuário deve definir o percentual de radiação recebida pela superfície projetada. O campo “irradiação” disponibiliza uma lista variando a cada 5% entre 30% e 100%. Para definir o percentual da radiação o modelo tridimensional foi novamente utilizado selecionando-se 3 superfícies com o maior potencial para geração energética tendo

características distintas de inclinação, conforme os estudos prévios realizados. O desvio azimutal das faces elencadas foi constatado verificando-se um desvio de  $-30^\circ$  para as 3 faces (fig. 26).



Figura 26: Esquerda: Desenho geométrico da implantação demonstrando desvio azimutal previsto no projeto. Direita: Visualização tridimensional do modelo indicando Faces ativas definidas para o projeto.

Fonte: autor

O ábaco foi então utilizado para interpolar as informações de ângulo de inclinação e desvio azimutal constatando-se os percentuais de radiação (gráfico 9).

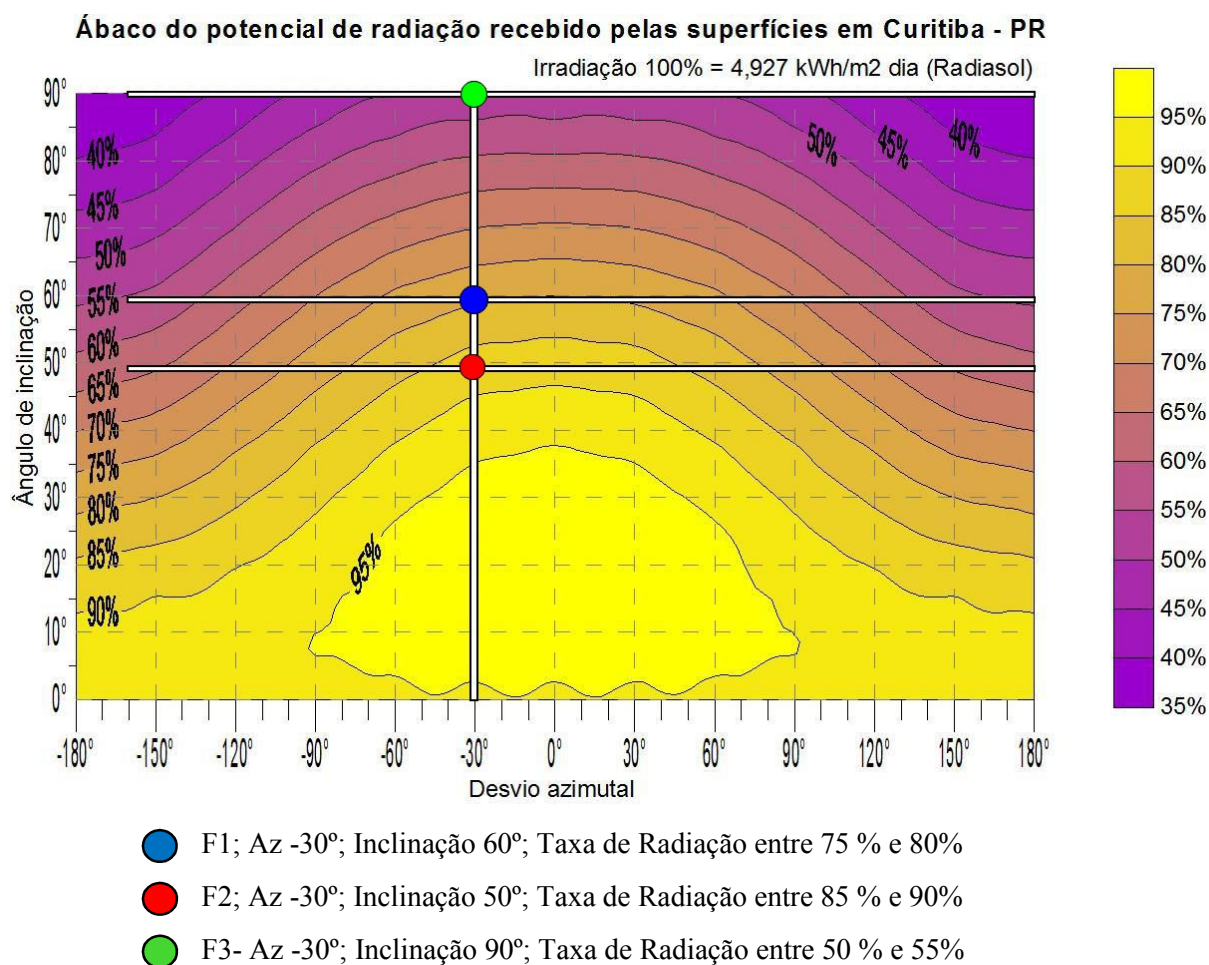


Gráfico 5: Ábaco com identificação das taxas de radiações de cada face ativa.

Fonte: Autor. <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

É necessário então inserir o dado de percentual de radiação no campo específico (quadro 1). A ferramenta permite, no entanto, realizar a simulação com os dados de uma única superfície, conclui-se, portanto, que cada face deve ser realizada uma simulação independente. Para continuidade da aplicação estabeleceu-se a fachada ativa 1 (F1) como superfície inicial para realização dos cálculos.

**Irradiação \***

 %

Quadro 1: Campos para inserção de dados de taxa de irradiação.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Na mesma página existe a opção denominada “ irradiação avançada”. Ao clicar no campo abrem-se mais dois campos: “nova radiação” em kWh/m<sup>2</sup>.dia e “Perdas por sombreamento” mensurada em percentual. Foi adotado o valor radiação informada pela ferramenta (4,93 kWh/m<sup>2</sup>) e perdas de sombreamento conforme a média estabelecida para F1 (quadro 2) assim como o percentual de sombreamento mensurado na tabela 2 no campo específico denominado “perdas por sombreamento” (quadro 2).

**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 \***

 (kWh/m<sup>2</sup>/dia)

**Perdas por sombreamento**

 (%)

**Continuar >>**

Quadro 2: Campos para inserção de dados de percentual de irradiação e irradiação avançada.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

### 3.3.2. Edificações – BIPVs de referência

A segunda aba do software permite que o usuário consulte um banco de dados de edificações com integração fotovoltaica. É disponibilizada uma listagem para seleção de parâmetros por múltipla escolha conforme 13 características de filtros de seleção (quadro 3).

[Início](#)
[Edificações](#)
[Área Disponível](#)
[Tipos de Módulos](#)
[Estimativa Geração](#)
[Estimativa Custos](#)

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

Quadro 3: Parâmetros para seleção de edificações com integração fotovoltaica.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

A seleção baseou-se nos critérios preestabelecidos na configuração do modelo e intenções projetuais referentes aos aspectos estéticos desejados para o projeto. O campo com o nome do projetista foi deixado em branco a fim de se não limitarem as possíveis amostras (quadro 4).

▼ Tipo de integração

- Nova edificação (BIPV) Todos
- Integração em Retrofit
- Integração aplicada sobre edificação (BAPV)

▼ Característica arquitetônica

- Edificação histórica Todos
- Arquitetos expoentes no meio arquitetônico
- Edificações convencionais

▼ Uso da edificação

- Residencial Todos
- Comercial
- Industrial
- Serviços
- Institucional

▼ Local de integração

- Cobertura Todos
- Fachada
- Cobertura / Fachada inclinada
- Brises e proteções

▼ Visualização da integração

- Sem visualização nas fachadas (escondida) Todos
- Integração visível ocupando toda face
- Integração visível ocupando parte de uma face

▼ Materiais construtivos da edificação

- Concreto aparente Todos
- Vidro / policarbonatos
- Madeira
- Metal
- Cerâmica
- Alvenaria
- Outros

▼ Superfície de integração

- Plana Todos
- Curva

▼ Visualização através da superfície

- Opaca Todos
- Transparente / translúcida

▼ Substrato do módulo FV

Rígido Todos

Flexível

▼ Tecnologia do módulo

Silício Policristalino / Silício Multicristalino Todos

Silício amorfo / Silício Microcristalino

Silício Monocristalino

HIT

Outros

▼ Moldura do módulo FV

Com moldura Todos

Sem moldura

Não identificado

▼ Localização geográfica

Europa Todos

Ásia

Oceania

África

América

Quadro 4: Características de filtros para seleção de obras referenciais.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

São apresentadas então imagens e dados referentes a edificações com as características selecionadas nos campos anteriores. Este atributo da ferramenta tem a capacidade de apoiar o projetista em definir aspectos plásticos pois apresenta diferentes soluções construtivas, formais, de combinação de materiais, cor e textura. Algumas destas edificações foram selecionadas conforme a intenção projetual (enquadradas com linha cor vermelha) gerando uma lista das obras selecionadas conforme o título e o projetista ou responsável pela realização da edificação (fig. 27 e quadro 5).

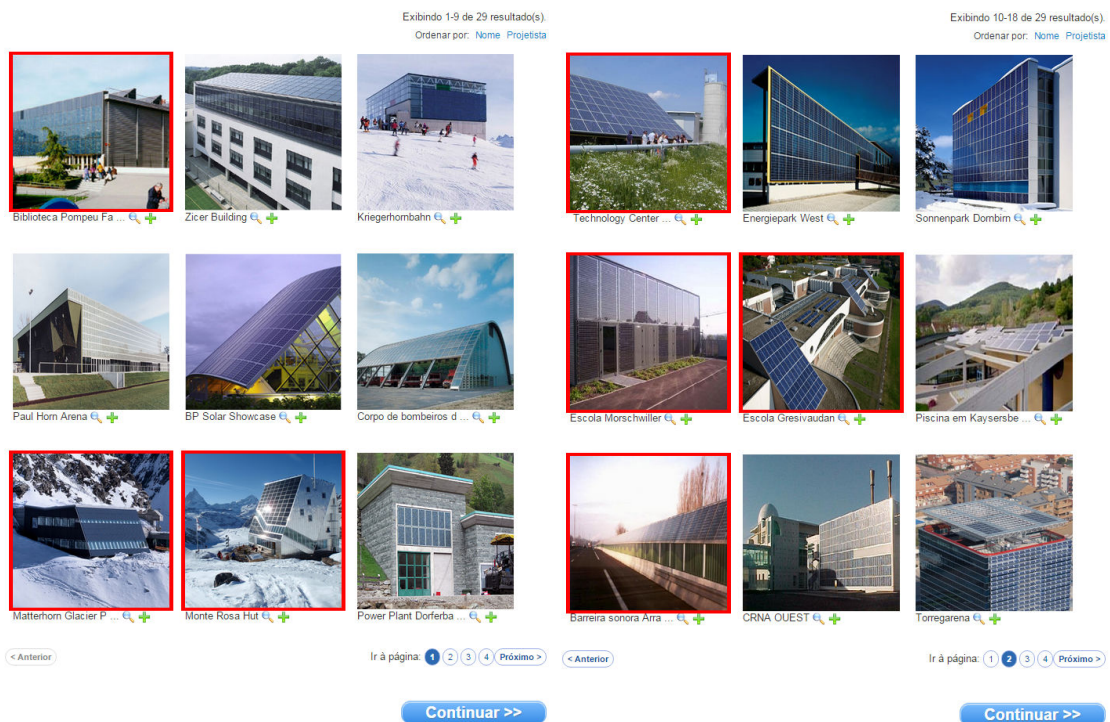


Figura 27: Amostras de integração fotovoltaica a arquitetura.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Biblioteca Pompeu Fabra - Arquitecto Miguel Brullet Tenas	×
Matterhorn Glacier Paradise - Julen & Lehmann Peak Architekten	×
Technology Center Güssing - Solarteur Solar GmbH	×
Escola Morschwiller	×
Escola Gresivaudan	×
Barreira sonora Arras Highway21	×
Monte Rosa Hut	×

Quadro 5: Lista de amostras de integração fotovoltaica a arquitetura selecionadas na ferramenta.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

### 3.3.3. Área disponível

O campo seguinte solicita a inserção da área disponível para aplicação de painéis. Pelo modelo tridimensional o dado foi extraído conforme cada face, mas admitindo-se uma quantidade de aberturas (ou janelas) sem a previsão de aplicação fotovoltaica. Para F1 e F2 adotou-se um valor de 35% de aberturas reduzindo-se esta área da área total prevista para a superfície. Para F2 não foram previstas aberturas por se tratar de um volume técnico (fig. 28).



Figura 28: Faces selecionadas para aplicação de painéis fotovoltaicos campo para inserção da área disponível, inserindo-se dados para F1.

Fonte: Autor. <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

### 3.3.4. Seleção e quantidade de módulos - potência instalada

A ferramenta disponibiliza um banco de dados com informações de painéis, potências, fabricante e aparência da superfície. É necessário selecionar-se um módulo para continuidade do processo (quadro 6).

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 estimativa 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.

Quadro 6: Informações sobre a seleção de módulos.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

O usuário pode então realizar uma busca avançada conforme parâmetros de filtros preestabelecidos (quadro 7). Foram selecionadas algumas das características disponibilizadas conforme a intenção projetual desejada (quadro 8).

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

Quadro 7: Características de filtros para seleção de módulos fotovoltaicos.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

▼ Tecnologia

- Silício multicristalino Todos
- Silício amorfo/microcristalino
- Silício monocristalino
- CIGS

▼ Visualização do substrato

- Opaco Todos
- Translúcido
- Transparente

▼ Estrutura do substrato

- Rígido Todos
- Flexível

▼ Cor / tonalidade

- Azul Todos
- Roxo
- Marrom
- Verde
- Preto
- Outra

▼ Brilho

- Superfície brilhosa Todos
- Superfície opaca

▼ Moldura

- Com moldura Todos
- Sem moldura

Quadro 8: Seleção dos filtros conforme intenção projetual.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Foram selecionadas algumas das características disponibilizadas conforme a intenção projetual desejada, apresentando-se uma lista de possíveis escolhas, selecionando-se um módulo específico para continuação da simulação (fig. 29).



Figura 29: Demonstração de módulos para seleção e aplicação.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

Dentre as opções foi selecionado o módulo JMK 280P-72 contendo as seguintes características demonstradas pela ferramenta (quadro 9):

	Fabricante: <b>JINKO</b>
	<b>Tecnologia</b>
	• Silício multicristalino
	<b>Potência nominal (Em Wp)</b>
	• 280,00
	<b>Comprimento (maior dimensão em m)</b>
	• 1,96
	<b>Largura (menor dimensão em m)</b>
	• 0,99
	<b>Peso (em kg)</b>
	• 27,00
	<b>Visualização do substrato</b>
	• Opaco
<b>Estrutura do substrato</b>	
• Rígido	
<b>Cor / tonalidade</b>	
• Azul	
<b>Brilho</b>	
• Superfície brilhosa	
<b>Moldura</b>	
• Com moldura	
<b>Eficiência (%) (transformação da irradiação recebida em energia)</b>	
• 14,40	

Quadro 9: Imagem e características do módulo selecionado.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

A ferramenta realiza nesta fase uma estimativa de potência instalada em kWp e quantidade de módulos em unidades absolutas, verificando-se 109 módulos possíveis com potência nominal de 280w e potência instalada de 30,52 kWp (quadro 10). O quantitativo de módulos estima o uso de 80% da área definida, prevendo-se recortes e ajustes formas. A potência instalada foi definida pela fórmula:

$$P_{FV} = (Q \times P_n) / 1000$$

$$30,52 = (109 \times 280) / 1000$$

$P_{FV}$ ; Potência instalada. (kWp)

Q; Quantidade de módulos.

$P_n$ ; Potência nominal dos módulos. (Watt)

A quantidade de módulos foi definida por:

$$Q = (A_d \times 80\%) / A_m$$

$$109 = (266,73\text{m}^2 \times 0,8) / 1,94$$

Q; Quantidade de módulos.

$A_{TOT}$ ; Área disponível para aplicação fotovoltaica.(m<sup>2</sup>)

$A_m$ , Área dos módulos. (m<sup>2</sup>)

JMK 280P-72 - JINKO	
Potência do Módulo *	Área do Módulo *
<input type="text" value="280,00"/> Wp	<input type="text" value="1,94"/> m²
Número de Módulos *	Potência Instalada *
<input type="text" value="109"/>	<input type="text" value="30,52"/> kWp

[Continuar >>](#)

Quadro 10: Informações de potência, área e quantidade de módulos para F1.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

### 3.3.5. Estimativa de geração e CO<sub>2</sub> evitado

A estimativa de geração anual leva em consideração o rendimento do sistema, a radiação disponível na superfície, o fator de sombreamento e a potência instalada. O valor do rendimento médio sugerido para sistemas fotovoltaicos considerando perdas elétricas, acúmulo de poeira e outros fatores varia entre 70% e 80%. A geração energética anual é calculada pela fórmula:

$$E_{ANUAL} = (P_{FV} \times H_{tot} \times PR \times D_a) / G$$

$$31.784,60 = (30,52 \times 3,5665 \times 0,8 \times 365) / 1$$

$E_{ANUAL}$ ; energia gerada anualmente pelo sistema. (kWh/ano)

$P_{FV}$ ; Potência instalada. (Wp)

$H_{tot}$ ; Irradiação média diária anual na superfície. (kWh/m<sup>2</sup>)

PR; taxa de desempenho do sistema.

$D_a$ ; Quantidade de dias anuais.

G, é a irradiância na condição STC (1000W/m<sup>2</sup>);

Conforme os dados inseridos na ferramenta, conclui-se que a irradiação média foi calculada pela fórmula:

$$H_{tot} = H_{máx} \times H_F \times F_s$$

$$3,5665 = 4,93 \times 80\% \times 0,9043$$

$H_{tot}$ ; Irradiação média diária anual na superfície. (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_{máx}$ ; Irradiação máxima para a localidade. (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_F$ ; Percentual da radiação recebida pela Face ativa. (kWh/m<sup>2</sup>)

F<sub>s</sub>; Fator de sombreamento.

O fator de sombreamento foi definido por:

$$F_s = 1 - S_b$$
$$0,9043 = 1 - 9,57 \%$$

F<sub>s</sub>; Fator de sombreamento.

S<sub>b</sub>; Percentual de sombreamento para a face ativa. (%)

Conclui-se sobre a quantidade de CO<sub>2</sub> evitado em relação à energia gerada, definida pela fórmula:

$$CO_2 \text{ anual} = E / CO_2$$
$$2.034,21 = 31.784,60 \times 0,0639$$

CO<sub>2</sub> anual, Quantidade de CO<sub>2</sub> evitado anualmente. (kg)

E; Energia gerada anualmente pelo sistema. (kWh/ano)

CO<sub>2</sub>; Quantidade de CO<sub>2</sub> evitado para cada kWh gerado pelo sistema fotovoltaico.

(kg)

Portanto para cada kWh de energia gerado são evitados 0,0639kg de CO<sub>2</sub> depositados na atmosfera (quadro 11).

<a href="#">Início</a>	<a href="#">Edificações</a>	<a href="#">Área Disponível</a>	<a href="#">Tipos de Módulos</a>	<b>Estimativa Geração</b>	<a href="#">Estimativa Custos</a>
------------------------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------------------------------

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.

A estimativa de geração considera uma média anual, podendo variar conforme as condições climáticas.

A emissão de CO<sub>2</sub> evitada compara a geração fotovoltaica em relação com a matriz energética brasileira (EPE, 2012).

**Rendimento do Sistema \***

%

**Estimativa de Geração Anual \***

kWh

**CO2 Evitado \***

Kg

Quadro 11: Estimativa de energia e CO<sub>2</sub> evitado.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

### 3.3.6. Estimativa de custos e balanço energético

A ferramenta disponibiliza uma estimativa de custo de aquisição do sistema, considerando um valor típico de mercado para cada Watt pico instalado. O valor de cada watt

pico no Brasil oscila de acordo em variações cambiais de moedas estatais (Dollar x Real), variando de 7,00 R\$/Wp a R\$ 12,00 R\$/Wp. Adotou-se o valor de 9,00 R\$/Wp. A estimativa de custos do sistema foi calculada pela fórmula:

$$I = \$_{WP} \times P_{FV} \times 1000$$
$$274.680,00 = 9,00 \times 30,52 \times 1000$$

I; Investimento de aquisição. (R\$)

$P_{FV}$ ; Potência instalada. (kWp)

$\$_{WP}$ ; Valor em reais determinado para cada watt pico instalado. (R\$/Wp)

A estimativa de demanda elétrica da edificação irá balizar o balanço energético do sistema em relação ao consumo da edificação. Esta estimativa pode ser realizada de diversas maneiras de Benchmarks: Quadro de previsão de usos e horários e potência de cada elemento consumidor elétrico da edificação, a simples conferência da conta de energia elétrica caso já exista ou então por um método **empírico** (típico de mercado). Existem diferentes tipos de *benchmarks*, que podem ser utilizados para comparação e avaliação de desempenho. *Benchmarks* podem representar o desempenho típico de um portfólio de edificações, ou de edifícios em uma área geográfica, de uma tipologia específica ou de um edifício ao longo de vários anos de operação (*benchmark* histórico). A métrica adotada internacionalmente é de quilowatt horas por metro quadrado de área útil por ano (kWh/m<sup>2</sup>/ano). Alguns programas de eficiência energética estudados no Brasil adotam uma medida mensal, mas o anual é preferido porque engloba toda a variação climática anual (BORGSTEIN e LAMBERTS, 2014).

Na estimativa realizada por Eduardo Borgstein e Roberto Lamberts (figura 26) a média de consumo típico para edificações corporativas da região sul é de 185 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Considerando que a edificação utilizará boas práticas de eficiência energética adotou-se o valor de 160 kWh/m<sup>2</sup>/ano, esta estimativa pode ser confirmada com o projeto de instalações elétricas numa análise mais apurada, no entanto o valor e o método foram considerados satisfatórios para este estudo. A estimativa de demanda elétrica anual da edificação foi calculada pela fórmula:

$$D_{ANUAL} = A_c \times D$$
$$926.016,00 = 5.787,60m^2 \times 160,00$$

$D_{ANUAL}$ ; demanda elétrica anual. (kWh/ano)

$A_c$  = Área computável. (m<sup>2</sup>)

D; Demanda elétrica típica. (kWh/m<sup>2</sup>.a)

A estimativa de demanda elétrica mensal média da edificação foi calculada pela fórmula:

$$D_{\text{MENSAL}} = D_{\text{ANUAL}} / 12$$

$$77.168,00 = 926.016,00 / 12$$

$D_{\text{ANUAL}}$ ; Demanda elétrica típica anual. (kWh/ano)

$D_{\text{MENSAL}}$ ; Média de demanda elétrica típica mensal. (kWh/mês)

12, Quantidade de meses em um ano.

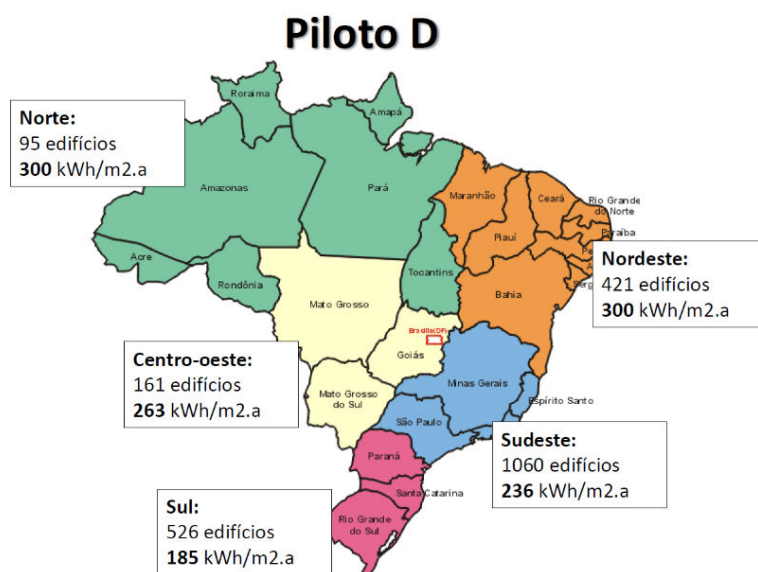


Figura 26: Mapa de benchmark de metodologia Empírica – típico de mercado, demonstrando características médias de demanda energética para edifícios cooperativos conforme a região.

Fonte: BORGSTEIN e LAMBERTS, 2014.

O balanço energético é a diferença entre a energia gerada pelo sistema anualmente e seu consumo anual. O balanço energético foi calculado pela fórmula:

$$B_E = E_{\text{ANUAL}} - D_{\text{ANUAL}}$$

$$-894.231,40 = 31.784,60 - 926.016,00$$

$B_E$ ; Balanço energético. (kWh)

$E_{\text{ANUAL}}$ ; Energia gerada anualmente pelo sistema. (kWh/ano)

$D_{\text{ANUAL}}$ ; Demanda elétrica anual. (kWh/ano)

Os dados foram inseridos e confirmados pelos atributos computacionais da ferramenta BIPV DESIGN (quadro 12):

## Editar Projeto: F1

**RESUMO**

- **INÍCIO**
  - Nome: **F1**
  - Localização: **Curitiba**
  - Irradiação: **80 %**
- **EDIFICAÇÕES**
  - Biblioteca Pompeu Fabra
  - Matterhorn Glacier Paradise
  - Technology Center Güssing
  - Escola Morschwiller
  - Escola Gresivaudan
  - Barreira sonora Arras Highway21
- **ÁREA DISPONÍVEL**
  - Área: **266,73 m²**
- **TIPO DE MÓDULO**
  - Módulo: **JMK 280P-72**
  - Potência Módulo: **280,00 Wp**
  - Área Módulo: **1,94 m²**
  - Número Módulos: **109**
  - Potência Instalada: **30,52 kWp**
- **ESTIMATIVA GERAÇÃO**
  - Rendimento Sistema: **80 %**
  - Estim. Geração Anual: **31.784,60kWh**
  - CO2 Evitado: **2.034,21 Kg**
- **ESTIMATIVA CUSTOS**
  - Custo Wp: **9,00 R\$**
  - Estim. Custo Aquis.: **274.680,00R\$**
  - Consumo Médio Mensal: **77.168,00 kWh**
  - Balanço Energ. Anual: **- 894.231,40kWh**

Início
Edificações
Área Disponível
Tipos de Módulos
Estimativa Geração
Estimativa Custos

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.

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.

A estimativa do custo de aquisição apresenta o valor total do sistema, vinculado exclusivamente à potência instalada.

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.

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.

**Custo Wp \***

R\$

**Estimativa de Custo de Aquisição \***

R\$

**Consumo Médio Mensal \***

kWh

**Balanço Energético Anual \***

kWh

**Salvar Projeto**

Quadro 12: Estimativa de custos, consumo médio mensal e balanço energético.

Fonte: <http://tecnando.com/bipvdesign/>. Acessado em: 21/09/2015.

A ferramenta então disponibiliza a ação para salvamento do projeto e exportação dos dados em formato PDF. A ferramenta foi aplicada então para as demais faces ativas (F2 e F3) conforme os dados e características de cada uma, e os relatórios referentes a cada face ativa foi gerado pela ferramenta, definindo a conclusão do processo metodológico.

## CAPITULO 4 –RESULTADOS, CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

### 4.1. RESULTADOS

Conforme a aplicação do método estimativo para cada face ativa, os dados gerados foram inseridos em uma planilha contendo o resumo das informações (tabela 3). A maior parte dos dados foi gerada pelas ferramentas computacionais e por cálculos anteriores.

Adicionaram-se, porém, alguns parâmetros com o objetivo de comparar a eficiência dos sistemas:

- O cálculo de *yield*, um parâmetro que permite comparar a qualidade dos sistemas independentemente. Esta comparação é importante para avaliar o desempenho de cada subsistema. A previsão da produtividade (*yield*) do sistema é dada pela razão entre a geração fotovoltaica estimada e a potência instalada. A previsão da produtividade de um sistema é importante não apenas do ponto de vista técnico, mas também do ponto de vista econômico (POLVERINI *et al.*, 2012). O *yield* dos sistemas pode ser comparado ao *yield* de um sistema de referência (SR) ou idealmente posicionado, permitindo uma análise qualitativa do sistema proposto em relação ao ideal de geração na mesma localidade, considerando-se uma configuração similar de fatores. A ferramenta BIPV foi então aplicada considerando-se uma situação ideal de radiação e sem perdas por sombreamento. Verificou-se que o *yield* do sistema atingiu 64% do *yield* calculado para o sistema de referência, embora o custo de instalação estimado, quantidade e características dos módulos e potencia instalada sejam os mesmos. Esta comparação é valiosa no que se refere à produtividade em relação a uma situação ideal, onde a geração energética atingirá o máximo para determinada localidade.

O potencial reduzido do sistema em relação ao SR se dá principalmente devido à menor incidência de radiação e maior percentual de sombreamento, conforme previsto na revisão bibliográfica.

- Foi inserido um campo indicando percentual da demanda atendida, dada pela razão entre a Energia Gerada anualmente e a demanda de consumo estimada requerida pela edificação. Este dado servirá para analisar comparativamente o atendimento do sistema proposto e o sistema de referência. Verificou-se que o sistema produzirá cerca de 6,45% da demanda energética da edificação proposta, numa estimativa anual.

Simb.	PARÂMETRO	Un	F1	F2	F3	F1/F2/F3	SR
H <sub>lot</sub>	IRRADIAÇÃO MÁX. PARA A LOCALIDADE	kWh/m <sup>2</sup>	4,93	4,93	4,93	<b>4,93</b>	4,93
M <sub>od</sub>	MODULO SELECIONADO		JMK 280P-72	JMK 240M-60	JMK 280P-72	-	JMK 280P-72
T <sub>ec</sub>	TECNOLOGIA DO MAT. FV		poly-Si	mono-Si	poly-Si	-	poly-Si
H <sub>TX</sub>	IRRADIAÇÃO	%	80,00%	90,00%	55,00%	<b>73,33%</b>	100,00%
H <sub>totn</sub>	NOVA IRRADIAÇÃO	kWh/m <sup>2</sup>	3,944	4,437	2,712	<b>3,62</b>	4,930
S <sub>s</sub>	PERDAS POR SOMBREAMENTO	%	9,57%	9,51%	21,68%	<b>13,59%</b>	0,00%
F <sub>s</sub>	FATOR DE SOMBREAMENTO	Un	0,9043	0,9049	0,7832	<b>0,8641</b>	1,0000
H <sub>tots</sub>	IRRADIAÇÃO C/ SOMBREAMENTO	kWh/m <sup>2</sup>	3,567	4,015	2,124	<b>3,16</b>	4,930
E <sub>f</sub>	EFICIÊNCIA	%	14,40%	14,70%	14,40%	<b>14,50%</b>	14,40%
P	PESO UNITARIO DO MÓDULO	kg	27,00	19,00	27,00	-	27,00
P <sub>n</sub>	POTÊNCIA NOMINAL	Wp	280,00	240,00	280,00	<b>266,67</b>	280,00
C <sub>m</sub>	COMPRIMENTO DO MÓDULO	m	1,96	1,65	1,96	<b>1,86</b>	1,96
L <sub>m</sub>	LARGURA DO MÓDULO	m	0,99	0,99	0,99	<b>0,99</b>	0,99
A <sub>m</sub>	ÁREA DO MÓDULO	m <sup>2</sup>	1,94	1,63	1,94	<b>1,84</b>	1,94
L <sub>s</sub>	LARGURA DA SUPERFÍCIE	m	40,00	19,40	40,00	-	40,00
H <sub>s</sub>	ALTURA DA SUPERFÍCIE	m	10,259	4,30	9,00	-	9,00
A <sub>s</sub>	ÁREA DA SUPERFÍCIE	m	410,36	83,42	360,00	<b>853,78</b>	584,15
A <sub>b</sub>	TAXA DE ABERTURAS	%	35,00%	0,00%	35,00%	<b>31,58%</b>	0,00%
A <sub>B</sub>	ÁREA PREVISTA DE ABERTURAS	m <sup>2</sup>	143,63	0,00	126,00	<b>269,63</b>	0,00
A <sub>TOT</sub>	ÁREA DISPONÍVEL PARA FV	m <sup>2</sup>	266,73	83,42	234,00	<b>584,15</b>	584,15
Q	CONTAGEM DE MÓDULOS	Un	109,00	40,00	96,00	<b>245,00</b>	240,00
A <sub>FV</sub>	ÁREA TOTAL INSTALADA	m <sup>2</sup>	211,50	65,34	186,28	<b>463,12</b>	465,70
P <sub>FV</sub>	POTÊNCIA INSTALADA	kWp	30,52	9,60	26,88	<b>67,00</b>	67,00
PR	RENDIMENTO DO SISTEMA	%	80,00%	80,00%	80,00%	<b>80,00%</b>	80,00%
E <sub>ANUAL</sub>	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO ANUAL	kWh	31.784,60	11.254,96	16.668,42	<b>59.082,71</b>	96.450,52
D <sub>MENSAL</sub>	CONSUMO MÉDIO MENSAL	kWh	77.168,00	77.168,00	77.168,00	<b>77.168,00</b>	77.168,00
D <sub>ANUAL</sub>	CONSUMO MÉDIO ANUAL	kWh	926.016,00	926.016,00	926.016,00	<b>926.016,00</b>	926.016,00
D <sub>A</sub>	CONSUMO ATENDIDO	%	3,43%	1,22%	1,80%	<b>6,45%</b>	10,42%
B <sub>E</sub>	BALANÇO ENERGÉTICO ANUAL	kWh	-894.231,40	-914.761,04	-909.347,58	<b>-866.308,01</b>	-829.565,48
y	Yield (PRODUTIVIDADE)	kWh/kWp	1.041,44	1.172,39	620,10	<b>944,64</b>	1.439,56
Y <sub>y</sub>	Taxa de yield EM RELAÇÃO AO yield SR	% / SR	72,34%	81,44%	43,08%	<b>65,62%</b>	100,00%
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> EVITADO	kg	2.034,21	720,32	1.066,78	<b>3.821,31</b>	6.172,83
	CUSTO Wp	R\$/Wp	9,00	9,00	9,00	<b>9,00</b>	9,00
I	ESTIMATIVA CUSTO AQUISIÇÃO	R\$	274.680,00	86.400,00	241.920,00	<b>603.000,00</b>	603.000,00

Tabela 3: Comparativo entre os dados das faces ativas F1, F2 e F3, e de um sistema de referência (SR).

Fonte: Autor.

O *yield* foi determinado pela equação:

$$Y = E_{ANUAL} / P_{FV}$$

$Y$ ; *yield* (análise anual). (kWh/kWp)

$E_{ANUAL}$ ; energia gerada anualmente pelo sistema. (kWh/ano)

$P_{FV}$ ; Potência instalada. (kWp)

Assim como a taxa do *yield* de um determinado sistema em relação ao *yield* de um sistema de referência:

$$Y_Y = Y_1 / Y_{SR}$$

$Y_Y$ ; taxa de *yield*, relação entre o *yield* do sistema e o *yield* de um sistema de referência. (%)

$Y_1$ ; *yield* do sistema analisado (análise anual). (kWh/kWp)

$Y_{SR}$ ; *yield* do sistema de referência (análise anual). (kWh/kWp)

- Percentual da demanda atendida, dada pela razão entre a Energia Gerada anualmente e a demanda de consumo estimada requerida edificação. O percentual é resultado da equação:

$$D_A = E_{ANUAL} / D_{ANUAL}$$

$D_{ANUAL}$ ; demanda elétrica típica anual. (kWh/ano)

$E_{ANUAL}$ ; energia gerada anualmente pelo sistema. (kWh/ano)

$D_A$ ; percentual da demanda atendida. (%)

#### 4.2. CONCLUSÕES

Diante do exposto no trabalho algumas conclusões devem ser salientadas:

O sistema proposto apresentou rendimento de mediano a baixo comparativamente ao sistema de referência. Com o intuito de viabilizar sua implantação, as estratégias compositivas devem ser revistas visando a melhoria do desempenho. O painel fotovoltaico proposto sobre a fachada vertical (Inclinação 90°), representada por F3, apresentou o menor *yield* dentre os subsistemas (cerca de 43% em comparação ao sistema de referência), reduzindo consideravelmente o desempenho estimado do sistema como um todo. Este efeito certamente terá impacto negativo e diretamente proporcional sobre a viabilidade econômica de sistemas similares. A substituição de materiais construtivos de fachadas por painéis fotovoltaicos terá, no entanto, efeito positivo e favorável economicamente, pois ao se avaliar esta substituição o investimento deverá considerar um custo evitado, ou seja, o custo do material que estará sendo substituído (Granito, reboco, cerâmicas, metais ou vidro por exemplo) poderá ser um fator redutor do custo de investimento.

A metodologia proposta e as ferramentas operacionais utilizadas são instrumentos viáveis de apoio à concepção e desenvolvimento de estudos preliminares arquitetônicos visando a integração fotovoltaica. Os parâmetros extraídos e avaliados ao final da tomada e comparação de dados apresentam um panorama geral dos sistemas proposto, no entanto cabem algumas considerações:

-Tecnicamente a avaliação fornece parâmetros e dados suficientes quanto ao desempenho e eficiência do sistema proposto. *O yield* pode ser considerado um bom parâmetro de avaliação do rendimento estimativo de um sistema, principalmente se comparado *yield* ao um sistema de referência. Outros fatores técnicos podem ser incluídos para se obter uma visão mais apurada sobre o rendimento estimado, tal como a estimativa do Fator de Capacidade, para se obter um panorama de desempenho comparativamente a outras fontes de energia. A estimativa de sombreamento proposta, utilizada como fator direto aplicado sobre a radiação disponível, deverá ser comprovada e, portanto, não pode ser utilizado sem as devidas considerações de margem de erro.

-Ambientalmente os dados são insuficientes para se obter um panorama abrangente. O CO<sub>2</sub> evitado é um bom parâmetro a ser avaliado e permite a comparação com emissões de outras fontes energéticas ou atividades, porém não fica claro se a quantidade de energia incorporada no processo construtivo ou de fabricação foram considerados nos cálculos fornecidos pela ferramenta BIPV DESIGN. Relacionar comparações dos benefícios ambientais tais como quantidade equivalentes de árvores plantadas, distância de voo equivalente percorrida por um *airliner* internacional ou percorrida por um determinado tipo de automóvel, são comparações de equivalência que podem contribuir no tocante a consciência ambiental na busca pelo desenvolvimento sustentável.

-Economicamente os dados revelados pelo método, conforme as propostas de utilização das ferramentas, são insuficientes e inconclusivos para se obter uma perspectiva de retorno de investimento. O dado do custo de aquisição isoladamente é uma base ineficaz para a avaliação econômica. Podem ser adotadas avaliações como: tempo de vida útil; custo de manutenção anual; payback simples e descontado; taxa de atratividade; taxa de correção da energia, custo e juros para aquisição de crédito, custo nivelado da energia, incentivos fiscais, fluxo de caixa; taxa de inflação e comparativo entre opções de investimentos, por exemplo, demonstrando um panorama mais apurado envolvendo os benefícios e retornos econômicos.

- Sob a ótica estética a modelagem proposta é demasiadamente simplificada para se obter uma avaliação estética mais apurada, considera-se necessária a aplicação de atributos adicionais específicos de sistemas computacionais. Simulações da edificação em perspectivas,

vídeos e detalhes, demonstrando-se por exemplo efeitos de cor, reflexo, transparência, cheios e vazios podem contribuir neste sentido.

As ferramentas utilizadas são instrumentos viáveis de apoio à concepção inicial em SFVIAs, revelando-se algumas considerações:

A ferramenta *SketchUp* possui atributos e operacionalidade simples e amigáveis. Seus principais atributos quanto a metodologia utilizada foram: modelagem tridimensional, visualização da incidência de sombras em relação a trajetória aparente do sol, estimativa visual cromática quanto ao potencial de radiação. Tais atributos fornecem uma visualização preliminar conveniente e reveladora do potencial de radiação e sombreamento, permitindo reavaliar dimensões e geometrias do modelo afim de se potencializar a exposição de faces do conjunto arquitetônico a radiação solar.

A ferramenta *Corel Photo-Paint* possui atributos visuais que contribuem na estimativa do potencial de radiação e sombreamento. Seus principais atributos utilizados foram a sobreposição de imagens aplicando-se comando de transparência. Tais atributos permitem visualizar o potencial de radiação conforme um conjunto de horas ou outras variáveis temporais. As imagens utilizadas na ferramenta, no entanto devem ser providas por outras ferramentas, neste caso, o *SketchUp*.

A ferramenta SAM possui diversas outras capacidades daquela utilizada neste método, no entanto optou-se pela utilização apenas do atributo de simulação da quantificação de sombreamento. Os atributos utilizados de modelagem permitem simular a edificação e seu entorno de maneira suficiente, embora possua limitações de modelagem de formas tridimensionais complexas. A quantidade estimativa de sombreamento demonstrada em percentual pela ferramenta é resultado de uma simulação geométrica de projeções de sombras sobre planos, em um determinado intervalo de tempo, o que terá impacto proporcional quanto à radiação direta disponível. Não se pode confirmar, no entanto, se esta redução será diretamente proporcional a redução de radiação e geração elétrica, pois devem ser considerados os efeitos da radiação difusa e de albedo nesta análise. Portanto 20% de sombreamento incidente sobre a área total de um determinado painel podem não necessariamente representar uma diminuição de 20% sobre a radiação total incidente e conseqüentemente sobre a geração elétrica. A admissão simples e direta deste valor pode resultar em margem de erros, as quais devem ser consideradas.

A ferramenta BIPV DESIGN é acessível, possui aparência amigável e atributos de fácil utilização. Exige do usuário conhecimento básico sobre os conceitos e parâmetros

utilizados. Os ábacos solares são instrumentos viáveis e simples para a estimativa de radiação conforme a geometria e desvio azimutal de planos. No entanto o banco de dados se limita aos dados de radiação no plano inclinado e apenas das capitais brasileiras, o que pode representar um limitador na difusão da ferramenta. Os principais dados extraídos se referem a estimativa de radiação, geração e balanço energético, potência instalada, áreas de módulos e painéis, CO2 evitado e custo de aquisição.

A estimativa de demanda energética, no entanto deve ser prevista pelo usuário conforme uma metodologia em separado, e terá impacto direto sobre o balanço energético. A utilização de *benchmarks* de consumo elétrico por método empírico – típico de mercado, mensurado em kWh/m<sup>2</sup>.a, permite facilmente estimar a demanda de uma determinada edificação conforme sua área construída. No entanto o dado pode ser validado conforme outros métodos tais como benchmark histórico (anos anteriores), modelado (simulação) e/ou empírico (mínima normativa) (BORGSTEIN e LAMBERTS, 2013).

O banco de dados com obras referenciais é uma excelente ferramenta de apoio à concepção de SFVIAs, pois permite ao projetista visualizar possibilidades arquitetônicas fotovoltaicas pré-existentes contribuindo na busca por uma estética condizente entre elementos arquitetônicos e fotovoltaicos. O catálogo de módulos fotovoltaicos disponibilizado pela ferramenta facilita consideravelmente o processo de seleção do módulo conforme sua aparência, eficiência, dimensões e potência nominal. Alguns ajustes podem ser agregados a ferramenta conforme proposto na tabela resumo, como o *yield* por exemplo, e o *yield* em comparação a um sistema de referência. Estes parâmetros podem demonstrar qualitativamente o rendimento do sistema avaliado e quantitativamente em relação à um ideal. Sugere-se que a avaliação da demanda elétrica atendida seja representada em dados percentuais com o objetivo de facilitar a visualização do dado, conforme proposto na tabela 3, parâmetro D<sub>A</sub>; consumo atendido.

#### 4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DISCUSSÕES

Este trabalho abrangeu alguns aspectos importantes envolvendo a concepção fotovoltaica integrada a arquitetura, e pode servir de base para que futuras pesquisas possam ser realizadas. A metodologia exposta não pretende ser um modelo padronizado, mas uma experiência a ser testada e analisada. Sugere-se a aplicação da metodologia projetual em outros estudos de caso para que as informações possam ser melhor validadas. Sugere-se a simulação do modelo proposto em outros *softwares*, buscando uma comparação entre os dados gerados por cada ferramenta e a validação dos resultados.

Expostas as considerações deste trabalho novas questões podem ser elencadas:

- Que outras ferramentas podem ser testadas comparativamente em relação aos seus atributos e capacidades computacionais?
- Quais cenários econômicos favoráveis e/ou desfavoráveis podem ser testados para se avaliar a viabilidade de sistemas fotovoltaicos integrados a arquitetura?
- Comparativamente a outros tipos de investimento o investimento tecnológico em sistemas fotovoltaicos a arquitetura representa uma opção viável para o investidor?

Proposta para trabalhos futuros:

- Aplicação do método em outros estudos de caso;
- Comparação dos resultados com dados de simulações realizadas em outras ferramentas operacionais;
- Avaliação de retorno econômico do estudo de caso proposto.

## 5. REFERÊNCIAS

ARCHER, M.D.; HILL, R. **Clean Electricity from Photovoltaics**: Imperial College Press. 2001.

BIPV DESIGN. Ferramenta operacional online. Disponível em: <<http://tecnando.com/bipvdesign/>>. Acesso em: 08 out. 2015.

BLAESSER, G. **PV system measurements and monitoring the European experience**. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. Issue 1-4, v.47,p.167-176, 1997.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. **Benchmarking e Etiquetagem energética em-uso**. CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável: 2013. Disponível em: <[file:///E:/download/CBCS\\_Apresentacao\\_Benchmarking\\_maio2013.pdf](file:///E:/download/CBCS_Apresentacao_Benchmarking_maio2013.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação**. Apresentado no Congresso Brasileiro de Construção Sustentável CBCS, Comunicação Técnica: 2014. Disponível em: <[http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/Comunicacao%20Tecnica/CBCS\\_CT%20Energia\\_Desenvolvimento%20de%20benchmarks%20nacionais%20de%20consumo%20energetic%20de%20edificacoes%20em%20operacao.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/Comunicacao%20Tecnica/CBCS_CT%20Energia_Desenvolvimento%20de%20benchmarks%20nacionais%20de%20consumo%20energetic%20de%20edificacoes%20em%20operacao.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

BJORN, P.; BREIVIK, C. R., HILDE D. **Building-integrated Photovoltaic Products: A State-Of-The-Art Review and Future Research Opportunities**: 2011. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:566282/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

CATHCART, K. A., **Building-Integrated Photovoltaics**, P.C. NREL National Renewable Energy Laboratory. A national laboratory of the U.S. Department 1993. Disponível em: <<http://www.kisscathcart.com/pdf/BIPV1kc.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

DECKER, B.; JAHN, U. **Performance of 170 grid connected PV plants in Northern Germany Analysis of yields and optimization potentials**. **Solar Energy**. Issue 46, v.59, p.127-133, 1997.

EPIA 2010 - EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Photon International**: 2010.

EPIA 2010 - EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World**: 2011. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/international/Global/International/publications/climate/2011/Final%20SolarGeneration%20VI%20full%20report%20lr.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

G. VERBERNE, P. BONOMO, F. FRONTINI, VAN DEN DONKER, M.N. **BIPV Products For Façades And Roofs: A Market Analysis**, Preprint - Presented at the 29th EU-PVSEC in Amsterdam: 2014. Disponível em: <[http://www.seac.cc/fileadmin/seac/user/doc/6DO.7.6\\_Verberne\\_et\\_al\\_PVSEC\\_2014.pdf](http://www.seac.cc/fileadmin/seac/user/doc/6DO.7.6_Verberne_et_al_PVSEC_2014.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

HAGEMANN, I. **Examples of successful architectural integration of PV: Germany. Progress in photovoltaic: research and applications:** 2004. IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY REPORT. IEA-PVPS T1-14, 2005.

HEINSTEIN, P., BALLIF, C.; PERRET-AEBI, L. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths:** 2013. Disponível em: <[http://infoscience.epfl.ch/record/203559/files/Paper\\_754.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/203559/files/Paper_754.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

HERNADEZ, P., P. KENNY. **From net to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB):** *Energy and Buildings*, v. 42, p. 815-821.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable energy technologies: cost analysis series.** Volume 1: 2012. Disponível em: <[https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis\\_SOLAR\\_PV.pdf](https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis_SOLAR_PV.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Building-Integrated Photovoltaics power systems guidelines for economic evaluation,** Report IEA PVPS T7-05. 2002. Disponível em: <<http://apache.solarch.ch/pdfinter/solar/pdf/reportno5.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

FREITAS, S.; BRITO, M.C. **Maximizing the Solar Photovoltaic Yield in Different Building Facade Layouts.** 2015. Disponível em: <[Http://www.researchgate.net/publication/281904396\\_Maximizing\\_The\\_Solar\\_Photovoltaic\\_Yield\\_in\\_Different\\_Building\\_Facade\\_Layouts\\_\(31st\\_EUPVSEC\\_Pre-Print\\_Version\)](Http://www.researchgate.net/publication/281904396_Maximizing_The_Solar_Photovoltaic_Yield_in_Different_Building_Facade_Layouts_(31st_EUPVSEC_Pre-Print_Version))>. Acesso em: 08 out. 2015.

MARION, B.; ADELSTEIN, J.; BOYLE, K.; HAYDEN, H.;HAMMOND, B.; FLETCHER, T.; CANADA, B.; NARANG, D.;SHUGAR, D.; WENGER, H.; KIMBER, A.; MITCHELL, L.; RICH,G.; TOWNSEND, T. **Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. In: 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition,Anais.** Lake Buena Vista, Florida: NREL. 2005.

MARZAL, A.J., P. HEISELBERG, J.S. BOURRELLE, E. MUSALL, K. VOSS, I. SARTORI, A. NAPOLITANO. **Zero energy building - a review of definitions and calculation methodologies:** *Energy and Buildings*, v.43, p. 971-979. 2011.

Melo, E. G. D. **Geração solar fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações.** (Dissertação). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <[https://www.google.com.br/search?q=Melo%2C+E.+G.+D.+Gera%C3%A7%C3%A3o+solar+fotovoltaica%3A+estimativa+do+fator+de+sombreamento+e+irradia%C3%A7%C3%A3o+em+modelos+tridimensionais+de+edifica%C3%A7%C3%B5es.&oq=Melo%2C+E.+G.+D.+Gera%C3%A7%C3%A3o+solar+fotovoltaica%3A+estimativa+do+fator+de+sombreamento+e+irradia%C3%A7%C3%A3o+em+modelos+tridimensionais+de+edifica%C3%A7%C3%B5es.&aqs=chrome..69i57j69i59l3.758j0j7&sourceid=chrome&es\\_sm=122&ie=UTF-8](https://www.google.com.br/search?q=Melo%2C+E.+G.+D.+Gera%C3%A7%C3%A3o+solar+fotovoltaica%3A+estimativa+do+fator+de+sombreamento+e+irradia%C3%A7%C3%A3o+em+modelos+tridimensionais+de+edifica%C3%A7%C3%B5es.&oq=Melo%2C+E.+G.+D.+Gera%C3%A7%C3%A3o+solar+fotovoltaica%3A+estimativa+do+fator+de+sombreamento+e+irradia%C3%A7%C3%A3o+em+modelos+tridimensionais+de+edifica%C3%A7%C3%B5es.&aqs=chrome..69i57j69i59l3.758j0j7&sourceid=chrome&es_sm=122&ie=UTF-8)>. Acesso em: 08 out. 2015.

NIKOLAOS, B., KITTIMA L. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) Tools for implementation and design approaches**. Department of Architecture - Chalmers University of technology Göteborg, Sweden, Report No. 465. 2012. Disponível em: <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/159025.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

NORTON, B.; EAMES, P. C.; MALLICK, T. K.; HUANG, M. J.; MCCORMACK, S. J.; MONDOL, J. D.; YOHANIS, Y. G. **Enhancing the performance of building integrated photovoltaics**. Solar Energy. Issue 8, v.85, p.1629-1664. 2010.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. **System Advisor Model – SAM**. Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>> Acesso em: 09 out. 2015.

PACHECO, M.T.G.; LAMBERTS, R. **Edifícios de energia zero: definições, políticas, exemplos**. ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza. 2008.

PEREZ, R.; PEREZ, M. **A fundamental look at Energy reserves for the Planet: 2009**. Disponível em: <<http://www.asrc.albany.edu/people/faculty/perez/Kit/pdf/a-fundamental-look-at%20the-planetary-energy-reserves.pdf>> Acesso em: 08 out 2015.

PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R., ABREU, S.L., RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2006. Disponível em: <<http://www.asrc.albany.edu/people/faculty/perez/Kit/pdf/a-fundamental-look-at%20the-planetary-energy-reserves.pdf>> Acesso em: 08 out. 2015.

POLYSOLAR LTD. **Guide to BIPV – Building Integrates Photovoltaics**. 2012. Disponível em: <<http://www.polysolar.co.uk/documents/GUIDE%20TO%20BIPV%202014.pdf>> Acesso em: 08 out. 2015.

POLYSOLAR LTD. **BIPV building integrated transparent photovoltaic solar glass**. Disponível em: <<http://www.polysolar.co.uk/>> Acesso em: 08 out. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO. **Portaria N° 80/2013, Regulamento de Edificações - Caderno de Anexos**. 2013. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2013/00134264.pdf>> Acesso em: 16 set. 2015.

**RADIASOL**. Ferramenta para estimativa de radiação em planos conforme a localidade. Universidade Federal do Rio Grando do Sul. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SANTOS, I.P. DOS. **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. Disponível em: < [http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese\\_IsisPortolanDosSantos.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_IsisPortolanDosSantos.pdf)> Acesso em: 16 set. 2015.

SCHMIDT, A. L. **Integração fotovoltaica na arquitetura.** Palestra, SENAI, Curitiba – PR. 2014.

SINAPIS, K., VAN DEN DONKER, M. **BIPV report 2013 state of the art in building integrated photovoltaics:** 2013. Disponível em: < [http://www.seac.cc/fileadmin/seac/user/doc/SEAC\\_BIPV\\_Report\\_2013.pdf](http://www.seac.cc/fileadmin/seac/user/doc/SEAC_BIPV_Report_2013.pdf)> Acesso em: 16 set. 2015.

TRIPATHY, M., SADHU P. K. **Building-Integrated Photovoltaics market trend and its applications,** department of electrical engineering, Indian School of Mines, Dhanbad-826004, India Indonesian Journal of Electrical Engineering Vol. 14, No. 2, May 2015, pp. 185 ~ 190. 2015. Disponível em: < [http://www.iaesjournal.com/online\\_index.php/TELKOMNIKA/article/view/7338/3961](http://www.iaesjournal.com/online_index.php/TELKOMNIKA/article/view/7338/3961)> Acesso em: 16 set. 2015.

URBANETZ, J.; ZOMER, C.; RÜTHER, R. **On the compromises between form and function in grid-connected Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) at low-latitudes.** In: ISES Solar World Congress, 2011. Anais. Kassel - Germany: Proceedings of the International Solar Energy Society's Solar WORLD CONGRESS. P. 776-786. 2011

URBANETZ, J. **Energia solar fotovoltaica.** Apostila disponibilizada pelo autor durante a disciplina do IV Curso de Especialização em Construções Sustentáveis. UTFPR. 2014.

VIANA, T.; ZOMER, C.; NASCIMENTO, L.; RÜTHER, R. **Centro de Eventos da UFSC: integração de sistemas fotovoltaicos à arquitetura:** IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

ZOMER, C.D.; NASCIMENTO, L.; BRAUN-GRABOLLE, P.; VIANNA, T.; COSTA, M.DOS R.; MONTENEGRO, A.; BITTENCOURT, A.; DOS SANTOS, I.P.; PEREIRA, L.C., KRATZEMBERG, M.; PFITCHER, P.; DOS SANTOS, L.R.R.C; MOSCARDINI JUNIOR, E.; NSAPOLINI, H.; RÜTHER, R. **Edifício de energia zero com gerador fotovoltaico integrado à arquitetura em clima subtropical.** IV Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2012

ZOMER, C.D. **Megawatt solar: geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. Estudo de caso: edifício sede da Eletrosul, Florianópolis – Santa Catarina.** (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Orientador: Prof. Ricardo Rüther, Ph.D. 2010.155p. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93727> > Acesso em: 16 set. 2015.

ZOMER, C.D.; NOBRE, A.; CASSATELLA, P.; REINDL, T.; RÜTHER, R. **The balance between aesthetics and performance in Building-Integrated Photovoltaics in the tropics.** Progress in Photovoltaics: Research and Applications. Issue 7, v.22, p.744-756, 2013.

## **6. ANEXOS**

### **6.1. RELATÓRIOS GERADOS PELA FERRAMENTA BIPV DESIGN**