



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O RIO DE JANEIRO<sup>1</sup>

**ALMEIDA, Tatiane (1); PERES, Anna Carolina (2); MORGADO, Claudio O. (3);**

**(1)** Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ/UFRJ), tatiane.almeida@fau.ufrj.br

**(2)** Pesquisadora do LCE da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (AMBEE/FAU/UFRJ), arq.annacarolinaperes@gmail.com

**(3)** Doutorando da COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LABFUZZY/COPPE/UFRJ) e (AMBEE/FAU/UFRJ), claudi.morgado@fau.ufrj.br

### RESUMO

*Atualmente há grande diversidade de aplicações para softwares de otimização, os quais vêm se popularizando na Arquitetura. O presente estudo tem como objetivo estabelecer as diferenças e os benefícios da otimização do posicionamento de painéis fotovoltaicos (ângulos de orientação e inclinação) no Rio de Janeiro, assim como quantificar as diferenças de geração de energia entre a instalação de placas solares fixas e de sistemas de rastreamento solar (tracking). Para isso foram realizadas simulações utilizando o Rhinoceros e Grasshopper, além de seu componente nativo Galapagos e o plugin Ladybug. Pôde-se verificar vantagens significativas na utilização de sistemas de rastreamento, além da indicação de um intervalo ótimo para a instalação de placas fixas no Rio de Janeiro. (Pesquisa autônoma/início)*

**Palavras-chave:** Painéis fotovoltaicos. Otimização. Simulação. Rio de Janeiro.

### ABSTRACT

*Currently, there is a diversity of applications for optimization software, which have become popular in Architecture. The present study aims to establish the differences and benefits of optimizing the positioning of photovoltaic panels (orientation and inclination angles) in Rio de Janeiro, as well as to quantify the differences in power generation between the installation of fixed solar panels and tracking systems. For that, simulations were performed using Rhinoceros and Grasshopper, in addition to its native Galapagos component and the Ladybug plugin. It was possible to verify significant advantages in the use of tracking systems, besides the indication of an optimal interval for the installation of fixed panels in Rio de Janeiro.*

**Keywords:** Photovoltaic panels. Optimization. Simulation. Rio de Janeiro.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2019 (BRASIL, 2019), apenas 0,5%

---

<sup>1</sup> ALMEIDA, Tatiane; PERES, Anna Carolina; MORGADO, Claudio O. Análise da otimização de painéis fotovoltaicos para o Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

da produção de energia elétrica no Brasil é gerada através de sistemas fotovoltaicos; 67% da energia vêm das usinas hidrelétricas, que dependem das águas dos rios em níveis adequados para abastecer suas represas.

As variações do clima já levaram o Brasil a atravessar duas graves crises ambientais, com escassez de chuvas e com muitas barragens de hidrelétricas apresentando níveis críticos em diversas regiões. A primeira crise ambiental aconteceu em 2001, quando um racionamento de energia elétrica foi imposto a todo o país. Depois, entre os anos de 2012 e 2015, a região Sudeste, maior responsável pelo desenvolvimento geoeconômico do Brasil, foi assolada por uma crise hídrica atípica, com recordes de calor. A falta de chuvas desabasteceu as represas das hidrelétricas, tornando necessário um racionamento d'água em diversas cidades e o consumo controlado de energia em todo o país (MORGADO e BRASILEIRO, 2019).

Como o Brasil está entre os países que apresentam um consumo total de energia ascendente (BERARDI, 2015) e essas variações hidrológicas “tendem a ser mais frequentes e mais severas, podendo afetar de forma permanente a produção de energia do país” (PBMC, 2016, p.42), deve-se considerar o potencial grandioso para a exploração e produção de energia fotovoltaica no país. A vida útil desses sistemas é elevada (entre 20 e 30 anos) e proporcionam diversas vantagens ambientais: são silenciosos, não poluentes (reduzem a emissão de dióxido de carbono na atmosfera) e confiáveis (taxas mínimas de falhas). São também extremamente modulares, o que permite que sua capacidade de geração seja aumentada em função das crescentes demandas de consumo das edificações.

A escolha da cidade do Rio de Janeiro para sítio desta pesquisa se deu por ser uma capital localizada na região Sudeste, que foi atingida com intensidade pela crise ambiental (hídrica e energética) de 2015. Em função disso, o presente estudo tem como objetivo estabelecer as diferenças e os benefícios da otimização do posicionamento de painéis fotovoltaicos (ângulos de orientação e inclinação) no Rio de Janeiro, assim como quantificar as diferenças de geração de energia entre a instalação de painéis fotovoltaicos fixos (estáticos) e de sistemas de rastreamento solar (tracking).

## 2 MÉTODO

O método parte da utilização dos softwares *Rhinoceros 6.0* e *Grasshopper* que atuam em conjunto. Enquanto o primeiro é um *software* de modelagem NURBS, o segundo é um editor de algoritmo gráfico que permite que designers sem experiência com *scripts* estabeleçam parâmetros para criar, o chamado design paramétrico. O *Grasshopper* possibilita a instalação de *plugins*, como é o caso do *Ladybug* que foi também utilizado neste trabalho. Este possibilita cruzar dados climáticos com geometrias desenhadas no *Rhinoceros*, permitindo sua exploração e análise sob aspectos de sustentabilidade e performance. Por fornecer dados gráficos e numéricos (ROUDSARI; SMITH, 2013), é possível modelar de maneira mais consciente com relação a iluminação, conforto e outras áreas de foco por meio de componentes.

O parâmetro a ser analisado neste trabalho é a geração energética fotovoltaica, cujos principais *inputs* necessários são os dados climáticos da localização, a propriedade dos painéis solares e a geometria a ser analisada. A variação entre os arquivos climáticos faz parte da análise proposta, então foram utilizados dados de três estações do Rio de Janeiro. Contudo, a propriedade dos painéis solares foi a mesma em todas as simulações para se obter um comparativo entre os valores. Foi utilizado o painel padrão

fornecido pelo *Ladybug*, por possuir grande semelhança com os modelos disponíveis no mercado brasileiro: 15% de eficiência, com tecnologia de silício e montado em um telhado. A geometria dos painéis varia em inclinação (altura solar) e orientação (azimute), porém, para todas as análises, foi utilizado 1m<sup>2</sup> de área com células fotovoltaicas (FV).

A **primeira análise** realizada é a definição da orientação e da angulação ideal de painéis FV instalados na cidade do Rio de Janeiro, considerando dados climáticos obtidos em três diferentes estações climáticas: a localizada no Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão), a do Aeroporto Santos Dumont e a do Aeroporto de Campo dos Afonsos. Optou-se por utilizar os arquivos denominados TMY, que representam o *Typical Meteorological Year* (ou ano meteorológico típico). A principal diferença de tais dados está em constituir a escolha de um mês característico da climatologia local, para cada um dos 12 meses do ano, entre 30 anos de dados coletados de forma consecutiva (WEIDE; RAMOS, 2012). Por possuir um maior espaço temporal de análise climática, tais arquivos são considerados mais precisos que dados os coletados em intervalos menores e que tendem a melhor representar as sazonalidades.

A partir de uma revisão da literatura acerca das orientações (com base no azimute) e inclinações (altura solar) a serem empregados, pode-se afirmar que pode ser considerada como ideal a orientação dos painéis solares para o norte geográfico e sua inclinação igual à latitude local, no caso do Rio de Janeiro próximo a 23° (GASPARIN; KRENZINGER, 2017). Nesta etapa, além do *plugin Ladybug*, foi utilizado o componente nativo do *Grasshopper* chamado *Galapagos*. Este tem como função a realização de otimizações tipo *mono-objetivo*, onde somente um parâmetro é levado em consideração. Neste caso, a geração de energia solar será expressa em kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, a quantidade de energia em kWh que 1m<sup>2</sup> de placas solares geraria em um ano.

O código escrito para esta primeira análise foi modelado de forma que, automaticamente, fosse variado o ângulo de inclinação dos painéis (entre 0° e 90°) e a orientação (entre 0° e 360°) até que se encontrasse a solução com o resultado mais eficiente. Usando princípios genéticos, o *Galapagos* utiliza sistemas evolutivos que eliminam características indesejadas (neste caso, baixa geração energética anual) e que se desenvolvem na direção do sucesso evolutivo (GERBO; SALIKLIS, 2014), ou seja, a maior energia gerada em um ano. Foram usadas configurações propostas por Celani e Martino (2014) para as características genéticas: elitismo (indivíduos que não sofrem mutação para a próxima geração) de 5%, taxa de cruzamento de 75% e população de 50 indivíduos para cada geração. Sem a utilização do componente de otimização, seriam necessárias realizar 32.400 simulações (360x90). Por meio do emprego deste, foram necessárias menos de 3.000, ou seja, valor quase 11 vezes menor.

A **segunda análise** também é relacionada à otimização, combinando o componente nativo *Galapagos* com o *Ladybug*. Apesar de possuir uma metodologia semelhante à primeira, ao invés de se propor uma orientação e uma inclinação fixas para o ano todo, buscam-se variações mensais. Neste caso, foram obtidas 12 soluções ótimas (uma para cada mês), considerando, então, um sistema teórico mensalmente rearranjado para obter os maiores valores de geração energética possíveis (considerando a placa fixa no decorrer do mês). Optou-se pela utilização de apenas um dos três arquivos climáticos disponíveis: o do Galeão, por ser o mais importante e conhecido no Rio de Janeiro.

A **terceira análise** leva em consideração os chamados rastreadores solares (sistemas de *tracking*). O objetivo desse tipo de sistema é maximizar a geração de energia mantendo o ângulo de incidência solar com relação ao painel o mais perpendicular possível (CLIFFORD; EASTWOOD, 2004). Os sistemas de *tracking* são divididos em sistemas de um e dois eixos. Sistemas de um eixo tem azimute variável e mantém inclinação dos painéis fixa. Já sistemas de dois eixos variam tanto a inclinação quanto o azimute dos painéis de forma que este fique sempre perpendicular aos raios solares. Apesar de sistemas de *tracking* se movimentarem constantemente ao longo do dia, os plugins utilizados tiveram como limitação a movimentação por hora. A descrição resumida das análises realizadas podem ser encontradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição das etapas

Análise	Softwares	Plugins e comp.	Arq. Clim.	Orientação	Inclinação
1ª	Rhino+ Grassh.	Ladyb. + Galap.	Três	Fixo/Ano	Fixo/Ano
2ª	Rhino + Grassh.	Ladyb. + Galap	Galeão	Fixa/Mês	Fixo/Mês
3ª	Rhino+ Grassh.	Ladybug	Galeão	Var./hora	Trackings

Fonte: Os autores

### 3 RESULTADOS

Para o cálculo da otimização anual relativa à geração de energia por placas fotovoltaicas no Rio de Janeiro foi utilizado o componente nativo *Galapagos* junto ao *Rhinoceros* e *Grasshopper*, sendo analisados três diferentes arquivos climáticos referentes às seguintes localidades: Aeroporto de Campo dos Afonsos, Aeroporto Santos Dumont e Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão). O objetivo dessa primeira análise é identificar quais seriam os ângulos ótimos de orientação (com base no azimute) e de inclinação do painel (ângulo com a superfície horizontal, com base na altura solar) para o melhor aproveitamento e eficiência de placas fotovoltaicas. Ressalta-se que nesse caso foi considerada na simulação uma placa fixa, não havendo ao longo do ano variação em seus ângulos de orientação e de inclinação. Sendo assim, como pode ser visto na Tabela 1, calculou-se a geração anual de energia para cada um dos arquivos citados, com os respectivos ângulos ótimos para cada simulação. Foi realizada também uma comparação direta com a orientação e inclinação geralmente indicadas para painéis fotovoltaicos no Rio de Janeiro, 0° e 23° respectivamente.

Tabela 1 – Painéis FV fixos: comparação da angulação tradicional (orientação 0° e inclinação 23°) com ângulos otimizados para o Rio de Janeiro

Arq. Clim.	Painel fixo tradicional (kWh/m <sup>2</sup> )	Geração de energia ótima (kWh/m <sup>2</sup> )	Ângulo Orientação	Ângulo Inclinação	Dif. ótima e tradicional (kWh/m <sup>2</sup> )
C. Af. TMY	180,13	180,57	351°	20°	0,44 (0,24%)
S. Du. TMY	182,94	183,63	347°	21°	0,69 (0,38%)
Galeão TMY	176,89	177,25	352°	21°	0,36 (0,20%)

Fonte: Os autores

Como era esperado, houve, para cada uma das três otimizações, a indicação de uma orientação próxima ao azimute que indica o Norte verdadeiro (0° ou 360°) e a inclinação próxima ao valor da latitude local (aproximadamente 22,83° Sul). Pôde-se verificar que a diferença de geração anual de energia, para todos os casos, é inferior a 0,70 kWh/m<sup>2</sup>. Dessa forma, mostrou-se mais efetivo a recomendação de um intervalo ótimo para tais ângulos, analisando os três arquivos climáticos. Sendo assim,

indica-se que, para o Rio de Janeiro, pode-se orientar a placa para o intervalo de orientação entre 0° a 10° e entre 325° e 360°, além de inclinação entre 15° e 29°, considerando uma variação na geração de energia na ordem de 1%.

Como mencionado, os resultados antes apresentados são referentes a painéis fixos. Sabe-se, no entanto, que existem painéis com sistema de rastreamento, os quais podem adaptar seus ângulos relativos à orientação e inclinação de acordo com a posição do sol. Existem atualmente dois sistemas de rastreamento, o chamado *Tracking* de Um Eixo (variação apenas da orientação) e o *Tracking* de Dois Eixos (variação da orientação e inclinação). A partir de simulações realizadas no *plugin Ladybug* em conjunto ao *Rhinoceros* e *Grasshopper*, foi calculada a geração de energia anual considerando os dois tipos de rastreamento (Tabela 2). Ressalta-se que nesse caso as simulações foram realizadas apenas para o arquivo climático do Galeão, como explicado no método.

Tabela 2 – Geração anual com *Tracking* e diferença entre a placa fixa otimizada

Tipo de Rastreamento	Ger. de Energia (kWh/m <sup>2</sup> )	Dif. entre tracking e placa fixa ótima (kWh/m <sup>2</sup> )
1 Eixo incl. 20°	196,45	19,56 (9,96%)
2 Eixos	212,04	35,15 (16,58%)

Fonte: Os autores

Como o *tracking* de 1 eixo apresenta sempre o mesmo valor de inclinação da placa solar (nesse caso, 20° com a superfície horizontal), os resultados não foram tão eficientes quanto o do *tracking* de 2 eixos, no qual a placa está sempre perpendicular ao raio de sol incidente. Observa-se que a energia gerada anualmente pelas placas com *tracking*, em ambos os casos, é significativamente superior à gerada por uma placa fixa, fator que ainda poderá ser multiplicado em função da quantidade de placas empregadas. Mostra-se então eficiência superior quando se utiliza o sistema de rastreamento em comparação a um sistema de placas estáticas.

Buscou-se, ainda, analisar mensalmente a geração de energia das placas simuladas, verificando em quais épocas do ano são apresentadas as maiores diferenças entre as placas estáticas e as placas com *tracking*. Além disso, foram realizadas novas simulações para a indicação de ângulos de otimização mensal, as quais nos permitiram analisar quais foram as melhores condições de implantação das placas ao longo do ano e a melhor compreender os resultados da placa fixa anual e das placas com *tracking* (nessa etapa todas as simulações foram realizadas para o arquivo climático do Galeão). Na Tabela 3 são apresentados os resultados da otimização mensal, ressaltando que, nesse caso, foi considerada uma placa teórica/fictícia que apresenta um sistema manual para a sua variação de orientação e ângulo de inclinação de acordo com os ângulos ótimos mensais.

Tabela 3 – Otimização Mensal para o Rio de Janeiro

Galeão TMY – Otimização Mensal							
Mês	Orient.	Incl.	Geração (kWh/m <sup>2</sup> )	Mês	Orient.	Incl.	Geração (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	195°	5°	17,59	Julho	357°	47°	14,12
Fevereiro	321°	7°	16,00	Agosto	354°	37°	14,67
Março	346°	20°	16,49	Setembro	0°	23°	13,96
Abril	355°	34°	14,91	Outubro	355°	9°	15,43
Maiio	355°	44°	14,59	Novembro	199°	2°	16,89
Junho	353°	49°	12,90	Dezembro	201°	8°	17,23

Fonte: Os autores

Ao realizar tal análise, pôde-se verificar, em primeiro lugar, a similaridade de resultados entre os meses que apresentam a mesma trajetória solar, os quais estão destacados por cores semelhantes na tabela, ressaltando que os meses de solstício (dezembro e junho) apresentam trajetórias únicas. Em janeiro, novembro e dezembro, embora a orientação encontrada indique um azimute próximo ao Sul (em função da trajetória solar desses meses), percebe-se que as inclinações da placa (5°, 2° e 8° respectivamente) são praticamente horizontais. Situação semelhante ocorre para os meses de fevereiro e outubro, com baixa inclinação, mas nesse caso com orientação mais próxima do Norte. Os meses de equinócio foram os que apresentaram inclinação da placa mais próxima da indicação tradicional de instalação. Deve-se ressaltar ainda que os meses de janeiro, novembro e dezembro são os que apresentaram maior potencial de geração de energia, ao passo que o mês de junho (solstício de inverno) foi o que apresentou menor potencial. Tais relações são consequência das taxas de radiação desses meses e do tempo de duração dos dias (maiores em janeiro, novembro e dezembro e menores em junho).

Para fins comparativos, buscou-se também verificar a produção de energia mensal, considerando a orientação e a inclinação encontradas nas simulações de otimização anual para uma placa fixa e para as simulações com os dois tipos de tracking. Tais resultados são apresentados na Tabela 4, que foi organizada de forma a apresentar uma comparação percentual entre as diferentes simulações, tendo sempre como base os resultados obtidos na simulação de otimização anual para uma placa fixa (0%).

Tabela 4 – Comparativo Mensal para as diferentes simulações considerando ao arquivo climático do Aeroporto Internacional Tom Jobim

Geração anual de energia				
Mês	Placa Fixa	Otimiz. Mensal	1 Eixo	2 Eixos
Janeiro	16,43 (0%)	17,59 (7,1%)	19,28 (17,3%)	20,29 (23,5%)
Fevereiro	15,65 (0%)	16 (2,2%)	17,85 (14,1%)	18,89 (20,7%)
Março	16,48 (0%)	16,49 (0,1%)	18,18 (10,3%)	19,35 (17,4%)
Abril	14,66 (0%)	14,91 (1,7%)	15,76 (7,5%)	17,25 (17,7%)
Maio	13,75 (0%)	14,59 (6,1%)	14,6 (6,2%)	16,62 (20,9%)
Junho	11,84 (0%)	12,9 (9%)	12,36 (4,4%)	14,36 (21,3%)
Julho	13,14 (0%)	14,12 (7,5%)	13,9 (5,8%)	15,85 (20,6%)
Agosto	14,28 (0%)	14,67 (2,7%)	15,23 (6,7%)	16,7 (16,9%)
Setembro	13,95 (0%)	13,96 (0,1%)	15,11 (8,3%)	15,92 (14,1%)
Outubro	15,2 (0%)	15,43 (1,5%)	16,88 (11,1%)	17,54 (15,4%)
Novembro	16,03 (0%)	16,89 (5,4%)	18,54 (15,7%)	19,46 (21,4%)
Dezembro	15,84 (0%)	17,23 (8,8%)	18,76 (18,4%)	19,81 (25,1%)
<b>Total</b>	<b>177,25 (0%)</b>	<b>184,78 (4,2%)</b>	<b>196,45 (10,8%)</b>	<b>212,04 (19,6%)</b>

Fonte: Os autores

Ao se comparar a placa otimizada fixa anual e a placa otimizada com ajuste mensal observa-se que as maiores diferenças são dadas nos meses de janeiro, maio, junho, julho, novembro e dezembro. Nos meses de maio, junho e julho, embora a orientação seja praticamente a mesma, a diferença é ocasionada pela melhor inclinação para tais meses da placa de ajuste mensal, compensando os valores mais baixos de altura

solar que tais meses apresentam. Em janeiro, novembro e dezembro a diferença é em função da placa fixa anual ser voltada para uma orientação próxima ao Norte e com maior inclinação do que é indicado na otimização mensal, como pode ser visto na Tabela 3 apresentada anteriormente. Deve-se frisar também que, nos equinócios, não houve diferença de geração de energia em função da similaridade dos ângulos ótimos nas duas simulações. De modo geral, mesmo com uma diferença percentual significativa nos meses citados, a diferença de geração de energia anual é de 4,2%, ou seja, embora a placa fixa anual não apresente o melhor posicionamento para todos os meses, a diferença de eficiência se comparada a uma placa teórica em que se pode mudar a sua orientação e inclinação buscando a otimização mensal é baixa.

Na Tabela 4 podemos também verificar que as placas com *tracking* sempre apresentam maior eficiência que a placa fixa anual. O *tracking* de 2 eixos mostra-se superior a todas as outras placas (pois se adequa exatamente a posição do sol), com altas porcentagens marcando a diferença relativa à placa fixa mensal, chegando a 25,1% no mês de dezembro e um total de 19,6% anual. No caso da placa com *tracking* de 1 eixo, embora ela sempre apresente valores maiores de geração de energia quando comparado a placa fixa anual, observa-se que sua eficiência diminui nos meses de maio, junho e julho, pois, embora possa ajustar sua orientação de acordo com a orientação do sol, a inclinação não é modificável.

É também em tais meses que o *tracking* de 1 eixo mostra maiores desvantagens em relação ao de 2 eixos, o que pode ser verificado fazendo a diferença entre suas porcentagens relativas a placa fixa, como por exemplo em junho, mês em que o *tracking* de 1 eixo é 4,4% maior que a placa fixa e o de 2 eixos 21,3% maior. Além disso, observou-se que nos meses de junho e julho a placa com ajuste mensal é mais eficiente que o *tracking* de 1 eixo, indicando a necessidade de placas com maiores inclinações para esses meses em função da baixa altura solar.

#### 4 CONCLUSÕES

O presente artigo analisou a otimização dos ângulos de inclinação e orientação de painéis fotovoltaicos no Rio de Janeiro, considerando as diferenças de geração de energia entre painéis fotovoltaicos fixos e com *tracking*. Os resultados indicaram uma considerável vantagem na utilização do sistema de *tracking* de 2 eixos, na faixa de 19,6% quando comparada a placas fixas anuais. Entretanto, ressalta-se que não foi considerado nas análises já apresentadas o consumo próprio de energia do sistema de placas com rastreamento. Além disso, não foram também analisados os valores de custo de aquisição e instalação referentes aos diferentes tipos de sistemas, sendo necessário portanto uma futura análise comparativa de viabilidade econômica.

Como resultados principais, podemos primeiramente frisar que mais importante do que determinar uma posição ótima fixa para placas fotovoltaicas no Rio de Janeiro, é a indicação de intervalos orientação (de 0° a 10° e 325° a 360°) e inclinação (entre 15° e 29°), abrindo-se assim uma gama maior de possibilidades de implementação em projeto. Viu-se ainda que há uma diferença considerável de ângulos recomendados ao se realizar a otimização mensal, consequência da variação da trajetória solar ao longo do ano, o que reforça os benefícios da utilização de placas FV que possam se adequar ao posicionamento do Sol.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

BERARDI, Umberto. **Building energy consumption in US, EU, and BRIC countries**. In: Procedia Engineering. v.118, p.128-136, 2015.

BRASIL. **Anuário estatístico de energia elétrica 2019 - ano base 2018**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

CELANI, G.; MARTINO, J. A. **Definição Volumétrica a partir de um sistema generativo evolutivo**. In: Sigradi 2014. Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 8. 2014.

CLIFFORD, M.J.; EASTWOOD, D. **Design of a novel passive solar tracker**. In: Solar Energy, v. 77, ed. 3, p. 269-280, set. 2004.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. In: **Revista Brasileira de Energia Solar**, [s. l.], ano 8, v. VIII, ed. 1, p. 10-17, julho 2017.

GERBO, E.; SALIKLIS, E. **Optimizing a Trussed Frame Subjected to Wind Using Rhino, Grasshopper, Karamba and Galapagos**. In: Proceedings of IASS Annual Symposia : IASS 2014 Brasilia Symposium: Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints – Historical Spatial Structures, Brasília, p. 1-7, 19 set. 2014.

MORGADO, C.O.; BRASILEIRO, A. **Fachadas de vidro em edifícios corporativos no Rio de Janeiro**. In: Libro de Actas EURO ELECS 2019. p.112-121. Santa Fe: UTN, 2019.

NWABUOKEI, F.I. *et al.* **Design of a stand-alone photovoltaic power system: case study of a residence in Owashi-Ukwu, Delta State**. In: Academic Discourse: Na International Journal, v. 7, n. 1, 2014.

PBMC. **Mudanças climáticas e cidades: relatório especial do painel brasileiro de mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016.

ROJAS, W.R.; BENAVIDES, C.M. **Discusión y evaluación de fuentes de luz artificial para la caracterización de dispositivos fotovoltaicos**. Tecnología en Marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil, p. 31-40, 2014.

ROUDSARI, M. S.; SMITH, M. P. A. **Ladybug: A parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design**. In: Proceedings of BS2013 - 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, p. 3128-3135, 2013.

WEIDE, L. E; RAMOS, F. M.; PEREIRA, E. B.; SCHUCH, N. J. **Determinação de um ano meteorológico típico para Florianópolis-SC**. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-americana da Ises, São Paulo, set. 2012.