XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DO USO DE FERRAMENTAS DE DESIGN GENERATIVO PARA CRIAÇÃO DE ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR PARA A ARQUITETURA[1]

LANGNER, Marcelo (1); SACHT, Helenice (2); VETTORAZZI, Egon (3)

(1) Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), marcelolangner@gmail.com

(2) Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), helenice.sacht@unila.edu.br

(3) Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), egon.vettorazzi@unila.edu.br

RESUMO

Os elementos de controle solar são uma das estratégias projetuais mais antigas de conforto térmico da arquitetura. Com o apoio das ferramentas CAD (Computer-Aided Design), o estudo e a criação de elementos de controle solar se tornaram mais acessíveis e precisos. Diante disso, será apresentado um estudo sobre o uso de ferramentas do design generativo, para criação de elementos de controle solar para a arquitetura. Essas ferramentas foram combinadas a outras de projeto, de simulação computacional de conforto térmico e consumo energético, de forma a auxiliar na definição de parâmetros para criação de dispositivos de maneira generativa e responsiva, considerando o clima da cidade de Foz do Iguaçu-PR. Para tal, foram utilizados os programas Ladybug Tools; Honeybee; Energy Plus, OpenStudio, Rhinoceros e Grasshopper, onde ocorre programação do script e a otimização de objetivos múltiplos. Os resultados preliminares indicaram que com o uso combinados das ferramentas CAD, ferramentas de simulação computacional de conforto térmico, consumo energético e algoritmos de otimização, foi possível determinar soluções que melhorem as condições de conforto térmico e eficiência energética, por meio do uso de elementos de controle solar criados a partir do design generativo.

Palavras-chave: *Brise-soleil, Elementos de controle solar, Design generativo, Eficiência Energética.*

ABSTRACT

Shade devices are one of the oldest design strategies for thermal comfort in architecture. With the support of CAD tools (Computer-Aided Design), the study and creation of these elements became more accessible and accurate. Therefore, a study on the use of generative design tools to create shading devices for architecture will be presented. These tools were combined with others for design, computer simulation of thermal comfort and energy consumption, in order to assist in the definition of parameters for creating elements in a generative and responsive manner, considering the climate of the city of Foz do Iguaçu-PR.

---

[1] LANGNER, Marcelo; SACHT, Helenice. VETTORAZZI, Egon. Análise do Uso de Ferramentas de Design Generativo para Criação de Elementos de Controle Solar para a Arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

The programs were used Ladybug Tools; Honeybee; Energy Plus, OpenStudio, Rhinoceros and Grasshopper, where the script is programmed and the optimization of multiple objectives. The preliminary results indicated that with the combined use of CAD tools, computational simulation tools for thermal comfort, energy consumption and optimization algorithms, it was possible to determine solutions that improve thermal comfort conditions and energy efficiency, through the use of shading devices created from generative design.

***Keywords**: Brise soleil, Shading devices, Generative design, Energy efficiency*.

1 INTRODUÇÃO

Com o advento do ar condicionado, o sombreamento tem se tornado útil para redução do consumo energético em escala global, embora, não seja gratuito, seu investimento tem compensado, sendo utilizado em várias culturas ao longo da história, como na arquitetura do Antigo Egito, Grega, Romana, a arquitetura vernacular e contemporânea. Seu uso por grandes arquitetos, como Frank Lloyd Wright e Le Corbusier foi explorado de forma criativa e adequada. Em grande parte dos edifícios de Frank Lloyd Wright é apresentado o uso de grandes saliências para o sombreamento das aberturas, que em sua maioria, eram amplas para maximizar a ventilação e iluminação natural (LECHNER, 2015). O mesmo pode ser visto nos projetos de Le Corbusier pós-resolução do superaquecimento no edifício Cité de Refuge na França, que forçou o arquiteto a rever seus conceitos relacionados à estética e sombreamento.

Nos processos de projeto, geralmente os arquitetos iniciam a criação estabelecendo o conceito e com uma imagem vaga da forma e soluções relacionadas ao desempenho, o que prejudica a eficiência e custo de construção (SONG, GHABOUSSI e KWON, 2016). O fato dos profissionais negligenciarem o uso de ferramentas de simulação computacional de eficiência energética na fase inicial de desenvolvimento do projeto é devido à modelagem energética ser uma tarefa demorada, embora seja nessa fase que a forma do envelope é definida, isso possibilitaria melhorias relacionadas à funcionalidade, a eficiência e a estética, uma vez que modificações nas fases posteriores são mais difíceis (GRANADEIRO, et al., 2013).

Esse cenário custoso da modelagem computacional para fins de simulação vem sofrendo mudanças com o surgimento de novos ambientes e ferramentas de software de design. O design paramétrico, processos generativos e pensamento algorítmico estão mudando os métodos de criação e desenvolvimento dos produtos e design (OXMAN, 2017). Esse impacto na arquitetura e engenharia surge principalmente devido ao design paramétrico, que possibilita o desenvolvimento das variáveis e componentes de projeto por parâmetros que podem ser manipulados ou alterados facilmente no decorrer de todo o processo projetual.

O design paramétrico traz uma série de opções ao campo da arquitetura e engenharia, que possibilitam a criação de regras de eficiência e desempenho que atuem durante o desenvolvimento do projeto, por exemplo, a possibilidade do projetista acompanhar simultaneamente o desempenho energético do edifício durante o processo de desenvolvimento da forma, ou até mesmo, seja alertado quando o design ultrapasse determinada métrica de consumo. O uso de computadores para resolução de problemas de arquitetura e engenharia já data meio século, e embora seu grande potencial de produtividade e resolutividade seja antigo, somente após a acessibilidade dos profissionais a computadores pessoais e com grande poder de computação foi possível a ampla exploração desse

potencial. O computador pode ser utilizado em níveis básicos como para representação e análise, e níveis mais avançados, resolvendo problemas através de sistemas generativos, automação e análises sistêmicas, tornando o computador coadjuvante no processo de projeto (CELANI, 2016).

Diante disso, será apresentado um estudo inicial, sobre o potencial de uso e aplicação de ferramentas do design generativo, para definição de elementos de controle solar para a arquitetura. Essas ferramentas foram combinadas com outras de projeto, de simulação computacional de conforto térmico e consumo energético, de forma a auxiliar na definição de parâmetros para criação de elementos de controle solar de forma generativa e responsiva, considerando o clima e latitude da cidade de Foz do Iguaçu-PR.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do presente estudo seguiu a seguintes etapas: I. Definição dos programas computacionais a serem utilizados; II. Definição do modelo e parâmetros de simulação computacional; III. Execução de simulações computacionais.

2.1 Programas Computacionais

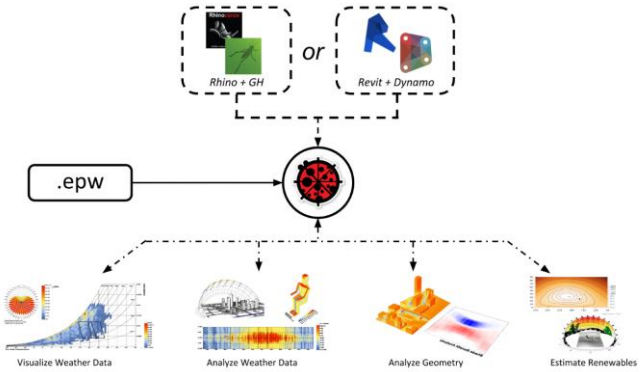
O conjunto de ferramentas utilizado nas simulações computacionais é composto pelos programas: Ladybug, que faz análise detalhada de dados climáticos e sua interação com o edifício e o consumo total de energia foi determinado utilizando o OpenStudio e EnergyPlus. São utilizados também os programas Rhinoceros e Grasshopper, pois a programação do Script ocorre no Grasshopper (inserido no programa Rhinoceros) e o SPEA-II, que é um algoritmo de otimização de objetivos múltiplos e também pertence ao campo dos algoritmos de objetivos evolutivos. O SPEA-II é uma extensão do algoritmo genético original SPEA, para otimização da resolução de problemas com múltiplos objetivos.

2.1.1. Ladybug Tools

O Ladybug Tools é um conjunto de aplicativos gratuitos (Ladybug, Honeybee, Butterfly e Dragonfly) para análise ambiental e consumo de energia total de edifícios que faz parte do portfólio de projetos de modelagem energética predial do Departamento de Energia dos EUA (DOE). Funciona dentro de plataformas de programação visual com o Grasshopper para Rhinoceros e Dynamo para Revit, utilizando motores de simulação validados mundialmente para simulação como Radiance, EnergyPlus, OpenStudio, Therm e OpenFOAM. O conjunto de aplicativos é composto pelo: Ladybug, que faz análise detalhada de dados climáticos e sua interação com o edifício (Figura 1). O consumo total de energia foi estimado utilizando o OpenStudio e EnergyPlus, e fluxo do calor através do Therm (Figura 2).

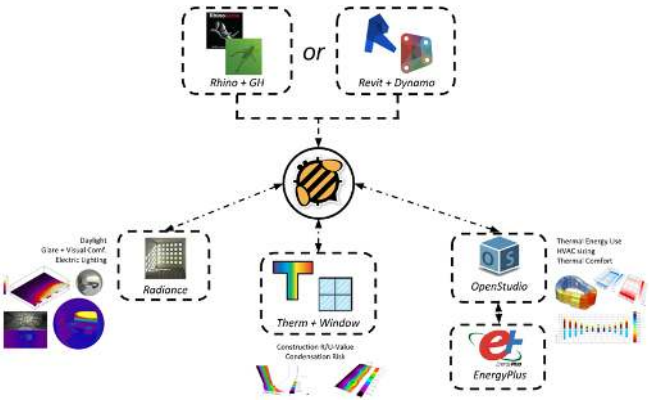
O aplicativo Honeybee conecta o Grasshopper3D a mecanismos de simulação validados, tais como como EnergyPlus, Radiance, Daysim e OpenStudio, para avaliar dados de consumo energético, conforto, iluminação natural, etc (Figura 2).

Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do Ladybug.



Fonte: Ladybug, 2020.

Figura 2 - Fluxograma de funcionamento do Honeybee.



Fonte: Ladybug, 2020.

2.1.2. Rhinoceros e Grasshopper

O Rhinoceros é um programa de modelagem de geometria 3D criado pela empresa Robert McNeel & Associates. Atualmente atende as plataformas Windows e MAC, sendo utilizados por designers, arquitetos e engenheiros (MCNEEL, 2020). A partir da versão Rhinoceros-6 de 2018, o software incorporou em seu mecanismo o Grasshopper, que surgiu inicialmente como um plugin e a agora faz parte integral do software. O Grasshopper é um editor de algoritmo gráfico integrado ao software de modelagem 3D Rhinoceros que permite a criação de script ou programação por linguagem visual, sem necessidade de conhecimento prévio de programação textual, possibilitando a utilização e manipulação de ferramentas de terceiros que vão desde análise ambiental até controle robótico (MCNEEL, 2020).

2.1.3. Energy Plus

O EnergyPlus é um software de simulação total de energia de edifícios desenvolvidos pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) que engenheiros, arquitetos e pesquisadores utilizam para simular o consumo de energia total de um edifício por climatização mecânica, ventilação, iluminação (DOE, 2020).

2.2 Modelo e parâmetros de simulação computacional

Para determinar as dimensões e uso da célula de simulação, foram analisadas as exigências em termos de área mínima; aberturas para ventilação, iluminação e sobre elementos de controle solar presentes no Código de Obras de Foz do Iguaçu (FOZ DO IGUAÇU, 1991), NBR 15575 (ABNT, 2013a; ABNT, 2013b) e Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - IRI-R (CB3E, 2018) chegando aos dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros adotados na célula, com base no Código de Obras, NBR 15575 e IRI-R.

Parâmetros Adotados (Célula)					
Ambiente	Área mínima (m²)	Pé direito (m)	Área mínima de abertura iluminação	Área mínima de abertura ventilação	Elemento de sombreamento
Sala	9m²	2,80	55% área do piso	27,5 % área do piso	Brise horizontal

As características físicas dos sistemas construtivos das paredes, cobertura e aberturas da célula foram definidos com base no edifício de referência do IRI-R. As características do piso interno em contato com o solo e dados sobre o brise foram extraídos da biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso do EnergyPlus (Tabela 2) (LABEEE, 2017).

Tabela 02 – Características físicas dos componentes construtivos.

Parede externa: tijolo maciço 9,0 x 6,0 x 19,0cm, sem revestimento interno e externo			
Transmitância térmica (U) [W/m².K]	Absortância (a)	Emissividade	Capacidade térmica (CT) [kJ/m².K]
3,65	0,60	0,90	média (50 < CT ≤ 200)
Cobertura externa: forro de madeira de 1,0 cm; Câmara de ar (> 5,0 cm) e telha cerâmica			
Transmitância térmica (U) [W/m².K]	Absortância (a)	Emissividade	Capacidade térmica (CT) [kJ/m².K]
2,02	0,4	0,9	leve (CT < 50)
Vidro: vidro simples incolor, com 3 mm de espessura			
Transmitância térmica (U) [W/m².K]		Fator Solar	
5,7W/m²K		0,87	
Piso em contato com o solo: Laje concreto 4 cm | Contrapiso 6 cm | Piso cerâmico 1.2 cm			
Transmitância térmica (U) [W/m².K]	Absortância (a)	Capacidade térmica (CT) [kJ/m².K]	
3,57	0,4	234,4	
Brise: Alumínio sem pintura			
Transmitância térmica (U) [W/m².K]	Absortância (a)	Emissividade	Capacidade térmica (CT) [kJ/m².K]
330	0,05	0,05	3,60

Após a simulação da célula de referência foram realizados testes com os algoritmos genéticos para analisar o seu funcionamento. Primeiramente foi testada uma média de 25 simulações, de forma a verificar se os dados dos elementos de controle solar estavam sendo corretamente considerados para filtrar os dados. Para tal, foi escolhido o algoritmo SPEA-II. O algoritmo manipulou durante 16 horas as variáveis dos elementos de controle solar apresentados na Tabela 3 para orientação oeste executando um total de 3400 simulações no EnergyPlus, com média de 13 segundos por simulação.

Tabela 3 – Variáveis dos elementos de controle solar manipulados pelo algoritmo generativo.

Elemento de controle	**Condicionantes**

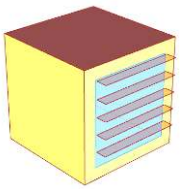
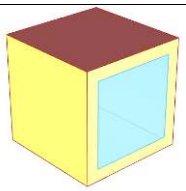
solar	
Treliças e grelhas	Dimensão: Área de permeabilidade do ar e luz solar (0,1 a 0,9 cm²).
Brise Horizontal	Quantidade: 1 a 20 aletas. Dimensão aletas: altura 2 cm, largura da janela, comprimento de 10 a 100 cm e ângulos das aletas de 60° a 0 para baixo e para cima.
Brise Vertical	Quantidade: 1 a 20 aletas. Dimensão aletas: altura da janela, largura de 2 cm, comprimento de 10 a 100 cm e ângulos das aletas de 60° a 0 para leste e oeste (norte), 60° a 0 para norte e sul (oeste).
Brise Misto	Quantidade: 1 a 20 aletas. Dimensão aletas: altura da janela, largura de 2 cm, comprimento de 10 a 40 cm e ângulos das aletas de 0°.

3 RESULTADOS

Foram executadas as simulações do consumo energético e conforto térmico da de uma célula de referência com e sem elementos de controle solar (Tabela 01). Após a simulação, é possível que esses dados sejam filtrados e dos mesmos extraídos os valores desejados.

Considerando as orientações norte e oeste foi possível observar que a célula com elementos de controle solar (brise horizontal com 5 aletas de 30cm) para o norte auxiliou num aumento das condições de conforto térmico de 3,90 % e redução de 7,11% no consumo energético. Já para orientação oeste foi observado um aumento no conforto térmico de 2,52 % e redução de 6,31 % no consumo energético (Tabela 4).

Tabela 04 – Resultados das simulações da célula referência com e sem elementos de controle solar.

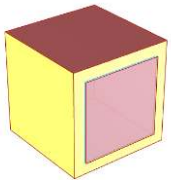
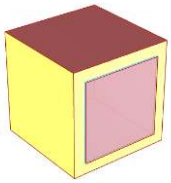
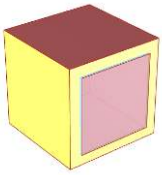
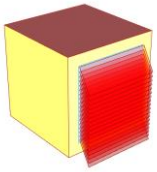
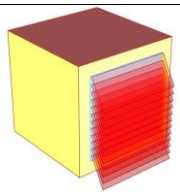
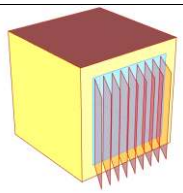
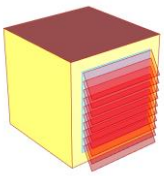
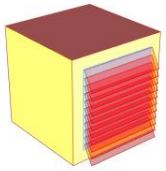
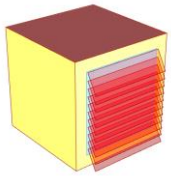
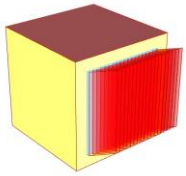
Célula referência com elemento de controle solar	**Célula referência sem elemento de controle solar**
	
Norte Conforto térmico: 37,70 % Consumo energético: 88,85 kwh/m²	Norte Conforto térmico: 36,23 % Consumo energético: 95,66 kwh/m²
Oeste **Conforto térmico: 36,54 %** **Consumo energético: 89,92 kwh/m²**	**Oeste** **Conforto térmico: 35,62%** **Consumo energético: 95,34 kwh/m²**

Após a finalização das simulações foi possível obter os melhores resultados baseados no Princípio de Pareto, o que permite obter um equilíbrio entre os melhores resultados de conforto térmico e consumo energético.

Na Tabela 3 é possível analisar os 10 melhores resultados alcançados pelo algoritmo SPEA-II para elementos de proteção solar localizados a oeste, onde é possível observar dentre as 4 variações, quais as melhores alternativas obtidas.

Tabela 3- Resultados dos 10 elementos de controle solar mais eficientes para a orientação solar oeste, gerados pelo algoritmo SPEA-II.

Treliça – Abertura De 0.9 cm²	**Treliça – Abertura De 0.8 cm²**	**Treliça – Abertura De 0.7 cm²**	**Brise Horizontal – 18 aletas com 80 cm**

			inclinadas c 60 ° para baixo
			
Conforto térmico: 40.85% Consumo energético: 75,56 kwh/m²	Conforto térmico: 40,34% Consumo energético: 76, 33 kwh/m²	Conforto térmico: 40,01% Consumo energético: 76,79 kwh/m²	Conforto térmico: 40,31% Consumo energético: 76,99 kwh/m²
Brise Horizontal – 12 aletas com 90 cm inclinadas a 60° Para baixo	**Brise Vertical – 9 aletas Com 100 cm Inclinadas a 30° para leste**	**Brise Horizontal – 10 aletas com 70cm inclinadas a 60° para baixo**	**Brise Horizontal – 11 aletas com 60cm Inclinadas a 60° para baixo**
			
Conforto térmico: 40.36% Consumo energético: 77,14 kwh/m²	Conforto térmico: 39,84% Consumo energético: 77,27 kwh/m²	Conforto térmico: 40,33% Consumo energético: 77,44 kwh/m²	Conforto térmico: 40,26% Consumo energético: 77,52 kwh/m²
BRISE HORIZONTAL – 15 aletas com 40 cm inclinadas a 60° para baixo		**BRISE VERTICAL – 19 aletas com 70 cm inclinadas a 60° para leste**	
			
Conforto térmico: 40,13% Consumo energético: 77,64 kwh/m²		Conforto térmico: 40,07% Consumo energético: 78,02 kwh/m²	

Os resultados demonstraram que a célula com elemento de controle solar gerado pelo algoritmo generativo de melhor eficiência apresentou aumento 10,55 % de conforto térmico e redução no consumo energético de 15,96 % quando comparado com a célula de referência com elemento de controle solar (Tabela 4).

Tabela 4 – Comparação de resultados das simulações da célula de referência com elemento de controle solar e gerado pelo algoritmo generativo.

	Célula referência sem elemento de controle solar	**Célula referência com elemento de controle solar**	**Célula com melhor resultado (treliça – abertura de 0.9 cm²)**
Consumo energético (Kwh/m²)	95,34	89,92	75,56
Percentual de horas do ano na zona de conforto (%)	35,62	36,54	40,85

4 CONCLUSÕES

Os resultados preliminares indicaram que com o uso combinado das ferramentas CAD, ferramentas de simulação computacional de conforto térmico e consumo energético e algoritmos de otimização, foi possível determinar soluções que melhorem as condições de conforto térmico e reduzam o consumo energético, por meio do uso de elementos de controle solar criados a partir do design generativo. Foi possível perceber ainda, que para o uso de um algoritmo generativo de otimização de elementos de controle solar exige um tempo considerável para criação do script, que nesse caso foi uma média de 64 horas, o que é válido quando se faz necessário um estudo mais profundo e que inclui um grande número de alterações de parâmetros, geometria e tipo de elementos construtivos a serem avaliados. Mesmo sendo despendido um tempo maior para criação do modelo, o processo de realização de alterações posteriores pode ser feito em segundos, possibilitando assim que o código seja utilizado para mais de um tipo de estudo, otimizando o processo de projeto de tais elementos.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15575:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, p. 63. 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, p. 71. 2013a.

CB3E, C. B. D. E. E. E. E. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.** Florianópolis: [s.n.], 2018.

CELANI, G. CAAD (Computer-Aided Architectural Design). In: BRAIDA, F., et al. **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** 1ª. ed. São Paulo: ProBooks, 2016. Cap. 101, p. 40-41.

DOE. **Energyplus**, 2020. Disponível em: https://energyplus.net Acesso em: 20 Ago. 2020.

FOZ DO IGUAÇU. **Código de Obras e Edificações do Município.** Leis complementar n° 3 data 16 de julho de 1991. Disponível em: http://www.pmfi.pr.gov.br/Portal/VisualizaObj.aspx?IDObj=1218 Acesso em: 20 Ago 2020.

GRANADEIRO, V. et al. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. **Automation in Construction**, v. 32, p. 196-209, Jul 2013.

LABEEE. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis, p. 52. 2017.

LADYBUG. **Ladybug Tools.** Disponível em: https://www.food4rhino.com/app/ladybug-tools Acesso em: 20 Ago. 2020.

LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting.** New Jersey: Wiley , 2015. ISBN 978-1-118-82172-5.

MCNEEL. **What's New in Rhino 6.** Rhinoceros, 2020. Disponível em: https://www.rhino3d.com/6/new Acesso em: 20 Ago. 2020.

OXMAN, R. Pensamento Paramétrico. **Design Studies,** v. 52, p. 1-3, Set 2017.

SONG, H.; GHABOUSSI, J.; KWON, T.-H. Architectural design of apartment buildings using the Implicit Redundant Representation Genetic Algorithm. **Automation in Construction**, v. 72, p. 166-173, Dec 2016.

YI, Y. K.; KIM, H. Agent-based geometry optimization with Genetic Algorithm (GA). **Solar Energy**, v. 113, p. 236-250, mar 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.11.007