

Exercício Projetual de uma Estrutura de Cobertura com a Utilização do Diagrama de Voronoi no plug-in Grasshopper

Design experiment with the use of Voronoi Diagrams in Grasshopper plug-in: a roof structure

Lucas Ariel Gomes

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
lucasariel05@gmail.com

Wilson Barbosa Neto

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
wbarbosa@fec.unicamp.br

André L. Araújo

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
a.araujo@fec.unicamp.br

Gabriela Celani

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
gabriela.celani@reitoria.unicamp.br

ABSTRACT

This paper describes a design experiment with the use of Voronoi Diagrams, a systematic division of the metric space based on a set of points. Automated procedures were used in the process: a script that generated sets of random points and a plug in that automatically generated polygons based on these points. Computer models, scale models and full scale prototypes were produced in order to develop construction details and preview results. It was possible to conclude that the use of a generative method along with automated procedures is far from restricting creativity, allowing the quick exploration of multiple design alternatives.

KEYWORDS: Roof structure; Voronoi Diagram; Grasshopper.

1. Introdução

Na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) têm-se experimentado inovações em diferentes esferas, o que tem produzido novas demandas. Edifícios de forma pouco usual e de elevada complexidade geométrica têm sido cada vez mais comuns. Objetivando a concretização dessas construções, a utilização de aplicativos computacionais tem sido necessária desde as fases iniciais do processo de projeto. Além disso, têm surgido grandes inovações no processo criativo, em especial com o uso de sistemas generativos que podem ser automatizados por meio de scripts e aplicativos especiais, facilitando o processo de criação de formas complexas. Isso permite, por exemplo, a reprodução de formas baseadas em mecanismos naturais. Um exemplo desse tipo de sistema generativo é o Diagrama de Voronoi (DV), uma forma de subdivisão do espaço métrico encontrada em várias formas da natureza.

Os DV's podem ser definidos no plano R^2 ou em outras dimensões. A partir de um conjunto finito de pontos geradores distintos $P \equiv \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, com $n \geq 2$, associam-se todos os outros pontos do espaço métrico a um desses pontos. Forma-se um conjunto

de polígonos convexos delimitados por retas traçadas entre os pontos geradores subsequentes. Essas retas são as mediatrizes dos segmentos de reta que unem os pontos. São interrompidas quando encontram outra mediatriz e, desse modo, se tornam também segmentos de reta. As mediatrizes são os limites dos polígonos do plano ou dos poliedros no espaço métrico (Okabe, Boots e Sugihara, 1992). Esse método de divisão geométrica foi proposto pelo russo Georgy Feodosevich Voronoy no início do século XX. Algumas figuras presentes na natureza podem ser descritas por meio dessa regra. Na Fig. 1(a) apresenta-se um exemplo de um DV em um plano (α) contendo seis pontos (P) e polígonos delimitados por mediatrizes (m). Na Fig.1(b) mostra-se o padrão geométrico característico de folhas, de peles de girafas, de asas de libélulas e de camadas de lama seca no solo.

Outro modelo matemático denominado Triangulação de Delaunay, descrito no final do século XIX pelo russo Boris Nikolaevich Delaunay, tem relação direta com a definição dos DV's. Nesse modelo, triangula-se um conjunto de pontos (P) em um dado plano, de modo que nenhum desses pontos fique dentro da circunferência que circunscreve os triângulos formados. A função principal

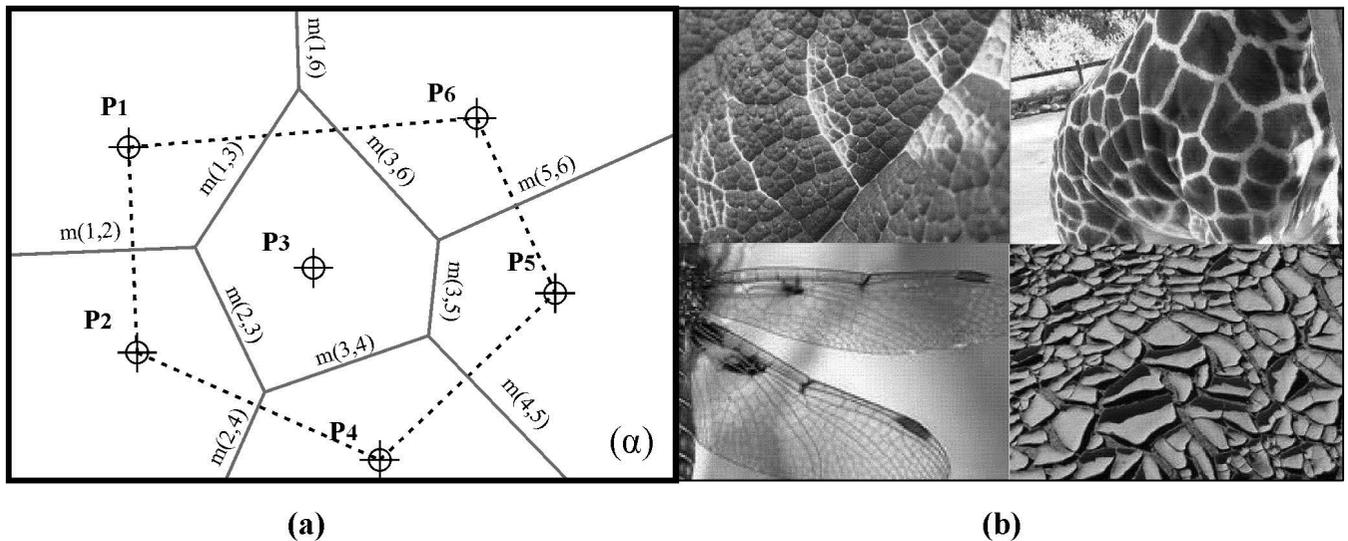


Fig. 1. (a) Diagrama de Voronoi. (b) exemplos presentes na natureza ←<http://decori.com.br/blog/?p=3763>→

da Triangulação de Delaunay é determinar o triângulo de maior ângulo dentre os triângulos possíveis, dessa maneira, evitam-se triângulos com ângulos internos muito pequenos. Gonçalves (2007) demonstra a relação geométrica entre esses dois modelos matemáticos: os vértices gerados pelo encontro das mediatrizes em um Diagrama de Voronoi são exatamente os circuncentros dos triângulos gerados pela Triangulação de Delaunay (Fig. 2).

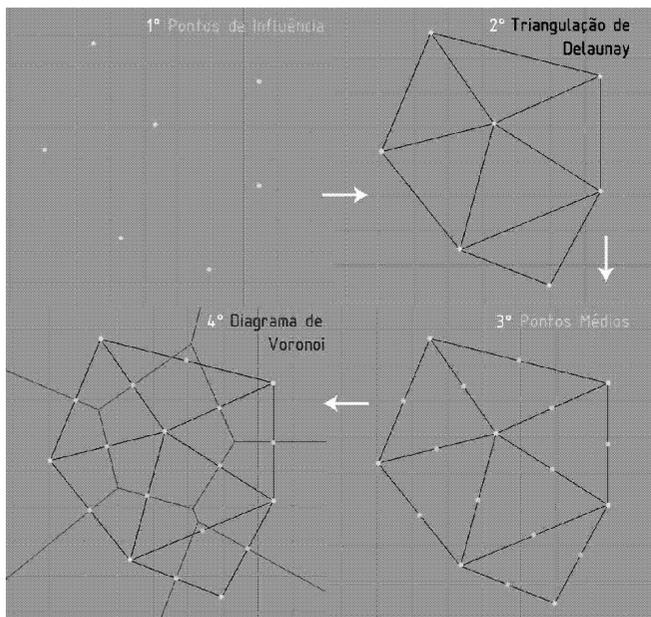


Fig. 2. Relação entre a Triangulação de Delaunay e o Diagrama de Voronoi

Existem exemplos práticos de aplicação dos Diagramas de Voronoi para a solução de problemas diversos. Um exemplo é encontrado no estudo de Novaes (2012) que apresenta uma alternativa ao zoneamento de problemas de transporte. Otimizando uma função objetivo com base nos DV's, o autor propôs um método para o zoneamento do transporte público intraurbano

com vistas a produzir soluções compactas. Em outro exemplo, Freitas (2012) propõe um mapa de uma cidade, no qual são marcados vários pontos que representam os locais de postos de correio. Nesse caso, utilizaram-se os DV's, a fim de delimitar a área de abrangência para cada um dos postos, de modo a definir quais regiões da cidade deveriam ser atendidas por cada posto.

Segundo Reyes (2005), a importância dos modelos matemáticos no processo de projeto está em sua função generativa e não em sua função representativa. Alguns modelos presentes no processo criativo não têm necessariamente uma correspondência direta com a forma final do objeto arquitetônico. Além disso, existe ainda a possibilidade de uso do modelo matemático generativo de maneira conjunta com outras ferramentas de projeto, ou mesmo com a intervenção manual do projetista. Exemplos dessa prática são comuns em projetos estruturais, em que o sistema generativo pode produzir soluções onerosas. Nesse caso, a intervenção manual por contribuir com a definição de uma solução de maior viabilidade.

Um exemplo da utilização conjunta do modelo matemático com outra ferramenta de projeto é encontrado no estudo de Oxman (2009). Utilizando-se os DV's e algumas ferramentas para análise de desempenho, a autora descreve o processo de projeto de uma poltrona, no qual o conceito é produzir o máximo conforto. Na ocasião, os DV's foram utilizados para produzir uma espécie de hierarquia espacial. O conjunto de pontos geradores foi determinado com base em relações de distância, a fim de produzir proximidades ou afastamentos. Os níveis de concentração de pontos geradores ficaram então vinculados às respostas obtidas por meio das análises de desempenho. Um dos resultados foi a possibilidade de se reproduzir o conceito e, ao mesmo tempo, usufruir das propriedades paramétricas que estão compreendidas no sistema

generativo baseado no modelo matemático.

Diversos aplicativos computacionais possibilitam a geração de DV's, como o *Voro++* e o *Qhull*. No presente artigo, demonstra-se um exercício projetual de uma estrutura de cobertura para o Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas, com o uso do plug-in Grasshopper dentro do ambiente do aplicativo Rhinoceros.

2. Materiais e Métodos

O Museu Exploratório de Ciências da Unicamp apresentou a demanda por uma cobertura semiaberta, com características semelhantes às de um pergolado. Como alternativa ao problema de projeto foi proposto um exercício projetual com os seguintes procedimentos:

- análise de informações do sítio de implantação da cobertura: orientação solar, ventos predominantes, topografia, vegetação, acessos e objetos existentes;
- estudo exploratório de aplicativos computacionais capazes de reproduzir um modelo matemático de DV;
- desenvolvimento de uma modelo computacional para a geração de alternativas de cobertura;
- definição de características construtivas a partir de avaliações de um protótipo físico: materiais, ligações e arquivos para fabricação digital.

3. Resultados e Discussão

Com base na análise de informações do sítio de implantação definiu-se a posição da cobertura a partir da determinação das posições de sombra. Definiram-se também algumas premissas do sistema estrutural: 1) quantidade, posição e tamanho de pilares; 2) ligação de pilares com as fundações e com o solo; 3) ligações entre os pilares e a cobertura; 4) tamanhos máximos das peças de cobertura.

No estudo exploratório de aplicativos computacionais, os primeiros procedimentos se concentraram na determinação dos pontos geradores do DV. Foram experimentadas duas maneiras. a) Manipulação dos pontos geradores em aplicativos CAD de modo não automatizado, de acordo com métodos de tentativa e erro. Desse modo, geraram-se malhas aleatórias de pontos e verificaram-se polígonos formados. As soluções consideradas mais adequadas do ponto de vista construtivo foram sucessivamente incorporadas em tentativas posteriores. Esse procedimento foi repetido até que as soluções satisfizessem as restrições de tamanhos máximos e mínimos das peças. b) desenvolveu-se um script com a utilização da linguagem VBA vinculada ao aplicativo AutoCAD, a fim de determinar os pontos geradores de modo automatizado. Obteve-se uma malha com níveis controlados de quantidade e posição de pontos e de tamanhos máximos e mínimos das peças. Na Fig. 3 apresentam-se os resultados dos dois experimentos. No processo não automatizado (Fig. 3a) houve maior variação no tamanho das peças. No processo automatizado (Fig. 3b) houve maior variação na forma das peças.

A partir desses resultados, adotou-se a malha de pontos geradores produzida pelo modo automatizado, tendo em vista que a utilização do script permitiu um melhor controle da posição dos pontos, informado ao programa por meio de porcentagem de deslocamento desejada em relação a uma malha regular tomada como base. A possibilidade de experimentar rapidamente diversas soluções de distribuição dos pontos foi o fator preponderante na seleção desse procedimento. Na sequência, os pontos gerados foram exportados para o aplicativo Rhinoceros, e utilizados para a geração do DV por meio do plug-in Grasshopper.

No Grasshopper, utilizou-se o componente *Voronoi groups*. Foram gerados dois planos de DV's sobrepostos, em diferentes escalas, dando origem a um conjunto de polígonos maiores e outro de polígonos menores.

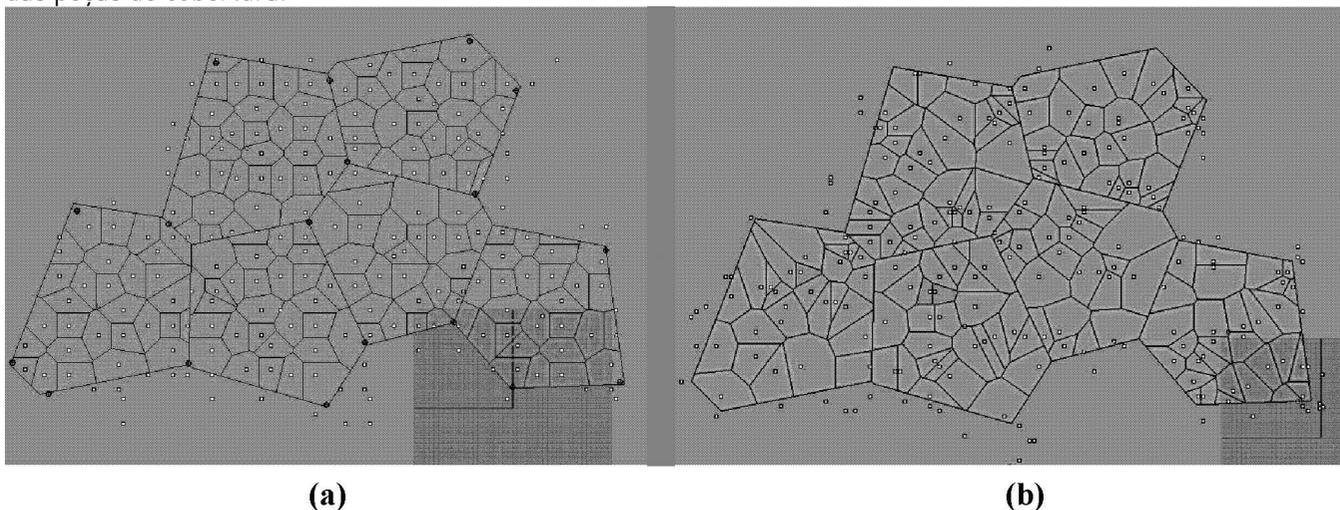


Fig. 3. Processos para a determinação dos pontos geradores do Diagrama de Voronoi

Alguns ajustes foram necessários antes de se obter a forma final. Em um deles, foi necessário construir retas nas bordas do plano, a fim de fechar polígonos abertos. Isso ocorreu porque os pontos geradores periféricos não possuem pontos geradores vizinhos para a determinação de mais mediatrizes. Em outro ajuste, eliminaram-se alguns polígonos com o objetivo de se obter um arranjo estrutural mais adequado ou uma proporção desejada. A estrutura foi batizada de *Vorostructure*.

A solução final possui seis polígonos maiores. Nos vértices de cada um deles definiu-se um pilar de sustentação. A distância entre pilares variou entre 0,5 e 3,5 metros. Dentro de cada um dos seis polígonos ficaram alocados polígonos menores. Essa solução permitiu uma definição mais coerente em relação à posição dos pilares e em relação à ligação entre as peças.

Definido o modelo computacional, iniciou-se a fabricação de um protótipo físico de parte da *Vorostructure* para a simulação de algumas características físicas visando a definição de detalhes de ligações entre as peças. O material selecionado para a fabricação dos polígonos foram os painéis Alucobond (*ACM – Aluminium Composite Material*), compostos de duas camadas externas de alumínio e um isolante térmico interior. Foram gerados arquivos para a fabricação (*G-code*) em um equipamento de controle numérico computacional, do tipo fresadora CNC. A prototipagem de algumas peças em escala natural (1:1) teve como intuito representar, em escala construtiva, as ligações entre as peças.

Baseando-se em aspectos como deformabilidade e dilatação específica das peças, foram definidas ligações utilizando-se cabos de aço flexíveis e presilhas de fixação. Nas ligações buscou-se a desvinculação entre as peças, de modo que os movimentos estruturais, principalmente em virtude de pressões de vento, não fossem transmitidos. Além disso, a prototipagem permitiu dimensionar a quantidade de furos por placa considerando o mecanismo de ligação proposto e a perda de massa por furo de cada placa (Fig. 4).

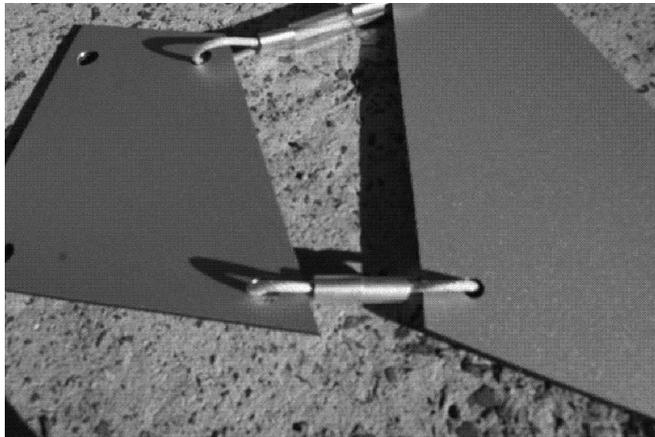


Fig. 4. Detalhe da ligação entre as peças

O resultado final desse exercício projetual foi uma cobertura vazada, dividida em seis polígonos maiores e estes subdivididos em polígonos menores num total de 173 partes. Foram dimensionados 20 pilares em Metalon com altura de 2,5 metros, além dos cabos de aço e presilhas de fixação. Na Fig. 5 mostram-se os modelos computacionais, nos quais foi possível analisar aspectos de sombreamento.

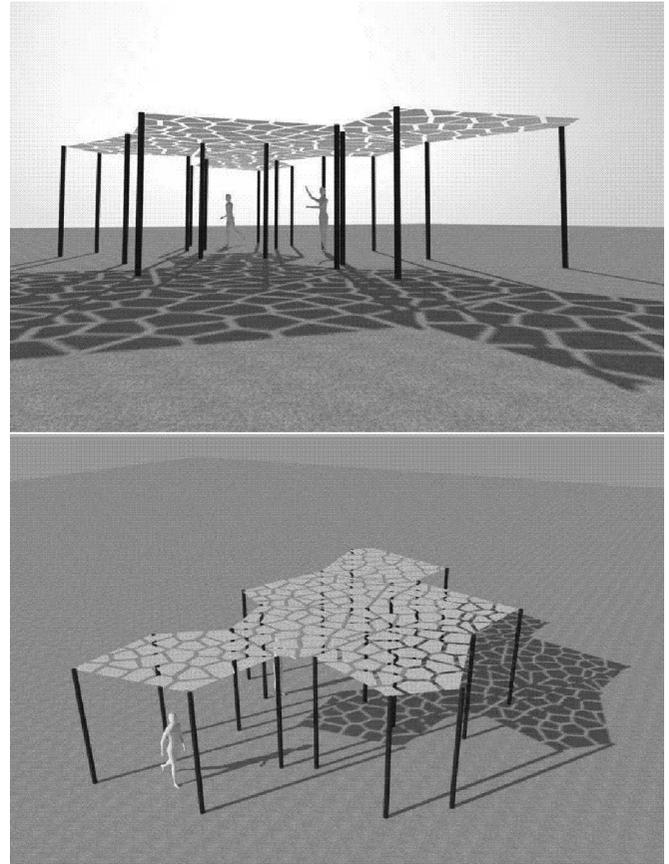


Fig. 5. Aspecto final da *Vorostructure*

4. Conclusão

Este exercício projetual permitiu descrever uma possibilidade de uso dos modelos matemáticos por meio de sistemas generativos automatizados. Foi possível constatar que a utilização de sistemas generativos, como os DV's não representa limitações ao processo criativo. Ao contrário, esses métodos podem representar uma fonte de inspiração e versatilidade. Além disso, a utilização da prototipagem em fases intermediárias do processo de projeto permite a resolução de problemas de maneira cíclica, isto é, realimenta o processo criativo a partir de conclusões extraídas da experiência prática. Embora os processos completamente automatizados ainda estejam distantes da prática de arquitetura, com este experimento conclui-se que esforços para automatizar os processos de projeto serão traduzidos, em muitos casos, em economia de tempo ou na análise de um número maior de possibilidades.

Agradecimentos

Ao Museu Exploratório de Ciências, pelo apoio à pesquisa ao CNPq, pela bolsa de Lucas Gomes, e à CAPES, pela bolsa de Wilson Barbosa.

Referências

Freitas, E. G. Aplicações do Diagrama de Voronoi. Acesso em 09 out. 2011, de In: <http://www.ime.usp.br/~freitas/gc/voronoi.html>

Gonçalves, N. D. F. 2007. *Métodos dos Volumes Finitos em Malhas Não-Estruturadas*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Novaes, A. G. 2007. Resolução de Problemas de Transporte com Diagramas de Voronoi. In: Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. *Anais...* Rio de Janeiro.

Okabe, A.; Boots, B.; Sugihara, K. 1992. *Spatial Tessellations: concepts and applications of Voronoi Diagrams*. Chichester: John Wiley & Sons, 532p.

Oxman, N. Material-Based Design Computation: tiling behavior. 2009. In: Conference of Association for Computer Aided Design in Architecture. *Proceedings...* Chicago. p. 122-127.

Reyes, M. L. F. Diagram as Media of Design Speculation: the productive ambiguity of Voronoi Diagram. 2005. In: Conferencia de la Sociedade Iberoamericana de Grafica Digital. *Anais...* Lima. p. 394- 399.