



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COBOGÓ COMPUTACIONAL – DA COMPUTAÇÃO MATERIAL E DA ATUALIZAÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS NA ARQUITETURA¹

SANTANA NETO, Ernesto José de (1); SILVA, Robson Canuto da (2)

(1) UNICAP, e-mail: eneto.santana@gmail.com; (2) UNICAP, e-mail: robsoncanuto.arq@gmail.com

RESUMO

Buscando controle microclimático do ambiente interno foram desenvolvidos equipamentos elétricos que contribuíram para ampliar o consumo energético e construir um paradigma arquitetônico, a independência entre interior e exterior. Soluções arquitetônicas passivas praticamente desapareceram da arquitetura, evidenciando espaços fechados com temperatura homogênea. Estudos recentes demonstram que a atualização dessas soluções permite repensar esse paradigma valorizando espaços climaticamente heterogêneos e aprimorando capacidades performativas. Este artigo investiga estratégias de atualização de cobogós, com maior eficiência energética, fundamentando-se na Computação Material, técnica que busca maior desempenho através do estudo das propriedades do material, compreendendo quatro aspectos que estruturam o trabalho: Materialidade, Estrutura material, Desempenho material e Materialização. Observou-se que a cerâmica, um dos materiais mais utilizados na produção de cobogós, possui uma geometria microestrutural que segue uma lógica voronoi, ao incorporar essa lógica ao desenvolvimento de uma nova geometria de cobogó foi observado um leve aumento no desempenho térmico quando comparado a cobogós padrões de mercado.

Palavras-chave: Computação material. Cobogó. Eficiência energética.

ABSTRACT

In order to achieve a higher microclimatic control of the internal environment were developed electrical equipment that contributed to increase the energy consumption and build an architectural paradigm, the independence between interior and exterior. Passive architectural solutions nearly disappeared from architecture, giving way to closed spaces with homogeneous temperature. Recent studies shows that upgrading these solutions allows the rethinking of this paradigm valuing climatic heterogeneous spaces and improving performative capabilities. This paper investigates strategies of updating cobogós energy efficiency, based on material computation, a technique that seeks greater architectural performance through the investigation of material properties, comprising four aspects that structure the paper: Materiality, Material structure, Material performance and Materialization. Analysis in ceramic, the most common material in the manufacturing of cobogós, showed voronoi microstructure geometry in the material, incorporating this logic to the development of a new geometry of cobogó results a slight increase of its thermal performance comparing with standard cobogós.

Keywords: Material computation. Cobogó. Energy efficiency.

¹ SANTANA NETO, E.J.; SILVA, R.C.. Cobogó Computacional – Da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Investigações sobre controle microclimático do ambiente interno deram origem a equipamentos elétricos de refrigeração e calefação, ampliando o consumo energético. Segundo Hensel (2008), a invenção destes aparelhos partiu de uma relação dicotômica entre interior e exterior, gerando uma busca por espaços fechados de temperatura homogênea. Todavia, as atuais políticas de sustentabilidade para amenizar os impactos destes aparelhos abordam quase que exclusivamente estratégias de redução da perda energética utilizando tecnologias que também são eletroeletrônicas, ampliando a dicotomia originadora destes equipamentos.

Consequentemente, e obviamente, esta abordagem reforça a estrita dicotomia entre interior e exterior que veio de mãos dadas com o surgimento destes dispositivos em primeiro lugar. Temos, portanto, herdado um incontestável paradigma espacial solipsista que é determinado e, por sua vez, determina a maneira como pensamos a modulação homogênea de ambientes quase hermeticamente fechados. (HENSEL, 2008, p. 49, tradução nossa)

Para contornar este efeito sem abdicar do conforto moderno, Hensel (2008) defende a atualização contemporânea de estratégias arquitetônicas, de controle ambiental, utilizadas anteriormente à invenção destes equipamentos, pois após sua chegada, elementos como pátios, galerias e varandas praticamente desapareceram do repertório espacial.

Neste cenário, a utilização do design computacional² destaca-se como uma ferramenta de desenvolvimento destas novas abordagens, pois através dos meios digitais podem-se ampliar as possibilidades de variação e desempenho de soluções tradicionais da construção civil. Como por exemplo, o cobogó, um sistema vazado utilizado na arquitetura moderna brasileira como elemento de vedação com o intuito de permitir a ventilação e filtrar a incidência solar. Na região Nordeste, a estratégia de vazar os muros com cobogós, defendida por Holanda (1976), mostrou-se como um instrumento de adaptação tropical das edificações.

Combinemos as paredes compactas com os panos vazados para que filtrem a luz e deixem a brisa penetrar. [...] Desenvolvemos novos padrões, estudando a disposição dos septos e a relação dos cheios e vazios, em função da orientação dos locais onde serão empregados e dos níveis de iluminação e ventilação desejados de forma a valorizar o cobogó como elemento construtivo e expressivo de uma arquitetura aberta dos trópicos. (Holanda, 1976, p. 25-27).

O cobogó pode ter seu desempenho ampliado através do design computacional, pelo controle de seus aspectos formais. A atualização do cobogó através dessa abordagem pode ser um método eficiente de controle microclimático, minimizando o uso de aparelhos elétricos e reassumindo seu papel na integração visual e ambiental entre interior e exterior.

² Concepção projetual desenvolvida através da colaboração de processos computacionais. (AHLQUIST; MENGES, 2011)

2 COMPUTAÇÃO MATERIAL

A computação material é um campo do design computacional baseado no estudo das propriedades do material para orientar a concepção arquitetônica. Menges (2012) apresenta esta técnica como uma forma de aproveitamento da matéria, pois através dela as capacidades do material transformam-se em objeto de pesquisa para geração da forma.

Uma alternativa de abordagem projetual que desdobra a forma (Gestalt) específica do material, e suas capacidades performativas relacionadas, pela reconciliação da geração da forma (Form) e a materialização física [...] integrando a informação do material como um processo gerador da concepção projetual. (Menges, 2012, p. 17, tradução nossa).

Segundo Menges (2014, informação verbal)³, uma pesquisa de computação material é desenvolvida a partir de quatro aspectos acerca do material trabalhado:

- Materialidade – Estudo das características do material e de seus comportamentos, visando à integração de tais informações ao processo de concepção.
- Estrutura do material – Estudo das formas de organização da microestrutura material dentro de uma lógica construtiva, buscando alcançar um maior desempenho estrutural.
- Desempenho do material – Estudo da capacidade intrínseca do material através da análise de sua responsividade frente ao meio no qual está inserido.
- Materialização – Estudo dos meios de produção da forma arquitetônica, buscando conciliar o método de fabricação ao material trabalhado.

Embora em diferentes projetos um ou outro aspecto sobressaia-se frente aos demais, todos estão presentes dentro de uma investigação baseada neste conceito. Segundo Menges,

Em um futuro não muito distante, os arquitetos não serão capazes apenas de aplicar a computação para integrar e modular o comportamento e as capacidades performativas de materiais existentes, mas também serão capazes de projetar a própria materialidade em si. (Menges, 2012, p. 21, tradução nossa).

Deste modo, o uso desta técnica na atualização do cobogó tem potencial de ampliar seu desempenho através da investigação de materiais e meios produtivos que possuam propriedades de alta eficiência energética.

³ Informação fornecida por Achim Menges na palestra Rethinking Materiality Through Computation in Architecture realizada na Associação de Arquitetos de Estocolmo em Abril de 2014. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PbgArau_4vl. Acesso em: Maio de 2015.

3 COBOGÓ COMPUTACIONAL

Dante do exposto, foi utilizada a computação material para a pesquisa de um cobogó que atendesse às expectativas contemporâneas, desenvolvendo uma estratégia projetual de um sistema vazado, baseada em uma investigação material, que propiciasse uma produção com desempenhos variados. Assim, foi desenvolvida uma metodologia baseada nos quatro aspectos da computação material.

- Materialidade – Estudo do material cerâmico, principal material utilizado na produção de cobogós e que possui alto desempenho térmico;
- Estrutura do material – Estudo das formas de organização microestrutural dos materiais cerâmicos, assim como suas propriedades térmicas;
- Desempenho do material – Estudos comparativos de desempenho entre os modelos de cobogó padrões de mercado e os protótipos desenvolvidos;
- Materialização – Estudo das formas de fabricação dos protótipos.

3.1 Materialidade

O cobogó foi desenvolvido em diversos materiais dentre os quais, a cerâmica merece destaque, pois possui propriedades térmicas que favorecem a finalidade de controle climático.

Segundo a ABCERAM (2015), “cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.”, o material pode ter classificações diferentes segundo suas propriedades.

O tipo de cerâmica mais utilizada na produção de cobogós é a cerâmica vermelha. Esta cerâmica possui propriedades de isolamento térmico, durabilidade e resistência a altas temperaturas, e sua principal matéria-prima é a argila, material do qual deriva a argila expandida que possui um desempenho térmico ainda maior.

A argila expandida é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila na temperatura em torno de 1200 °C. Próximo desta temperatura, uma parte dos constituintes do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados por esta massa sinterizada, expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial. (W. G. Moravia et al., 2006, p. 193).

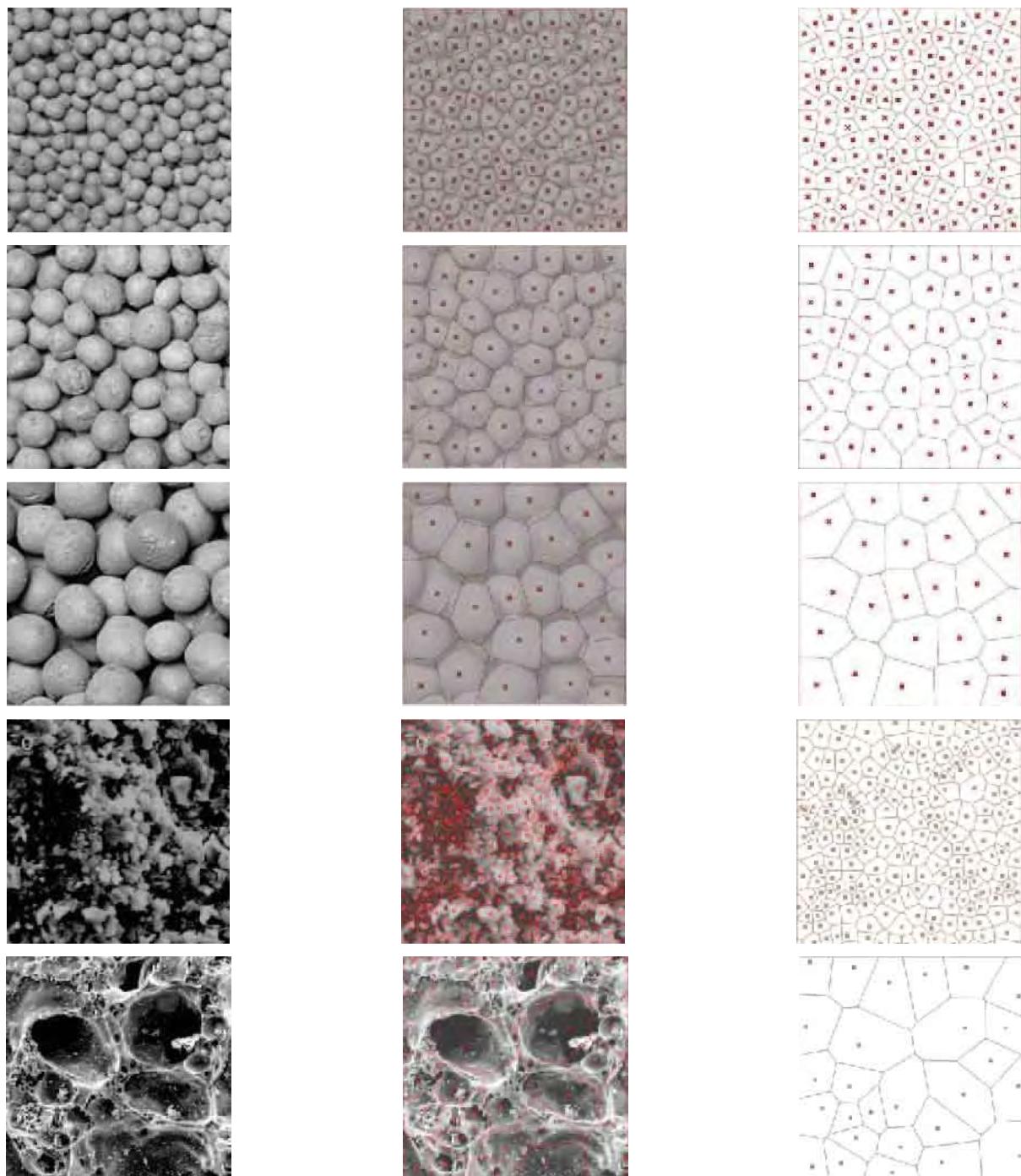
Trata-se de esferas cerâmicas, com micro poros internos, revestidas por uma casca. A argila expandida pode ser produzida em diferentes granulometrias e sua disposição em um espaço varia segundo estas diferenças.

3.2 Estrutura do material

Ao observar as formas de organização da argila expandida em um espaço, percebe-se uma lógica de estruturação voronoi. O voronoi é um modelo matemático de decomposição do espaço através de células cuja distância

entre seus vértices e seu centroide não excede a distância entre dois centroides (TRAN et al., 2009). Ao sobrepor um diagrama voronoi à imagem de um conjunto de argilas expandidas, assim como na estrutura microscópica das superfícies internas e externas, percebe-se a relação entre as duas estruturas (Figura 1).

Figura 1 – Estruturação voronoi macro e microscópica da argila expandida

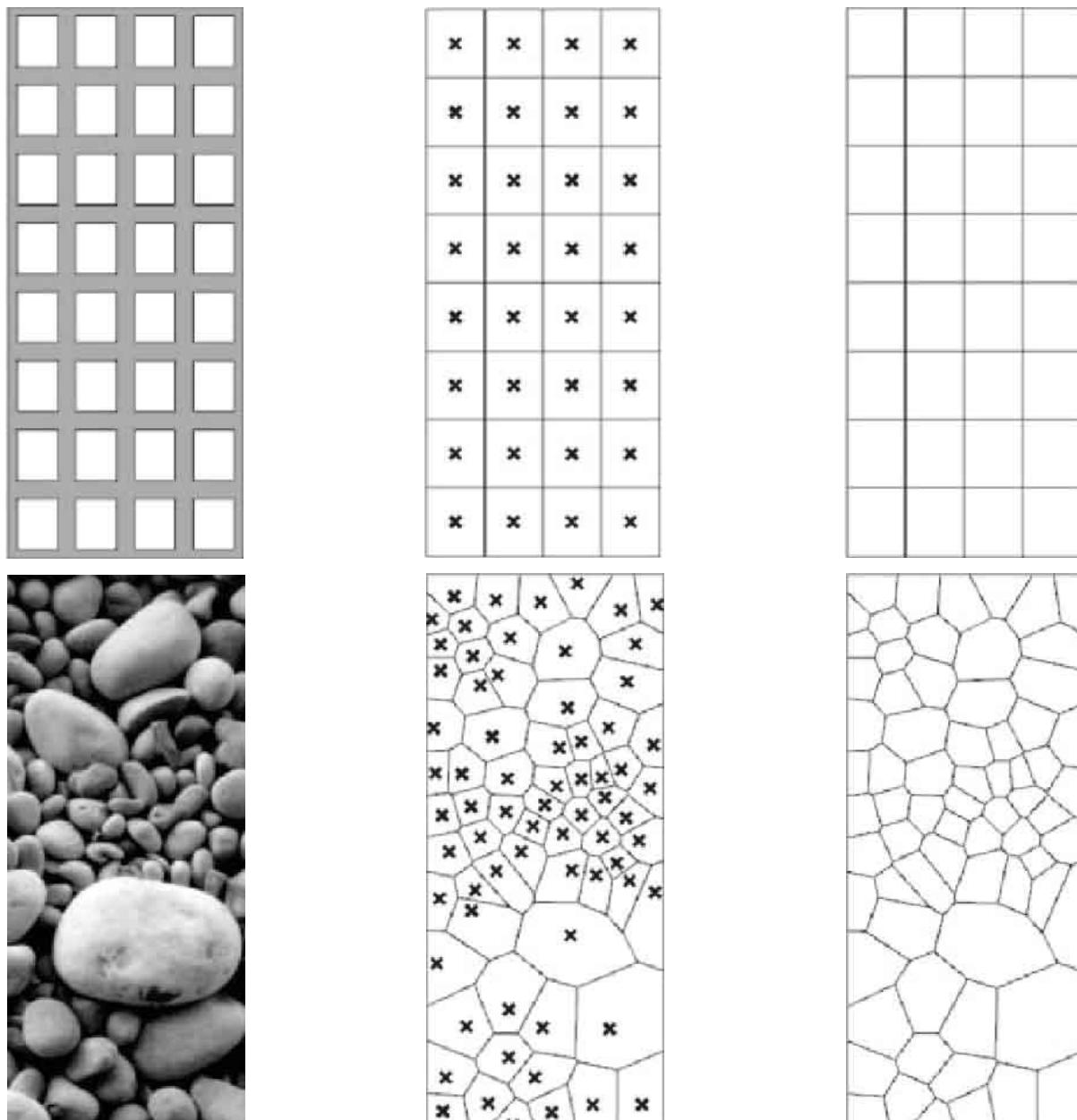


Fonte: W. G. Moravia et al. (2006) / Estudos autorais

Em contrapartida, percebem-se lógicas euclidianas de decomposição do espaço nos padrões comerciais de cobogós, através de uma malha homogênea com aberturas idênticas em todos os pontos do sistema.

Entretanto, na decomposição voronoi, verifica-se malhas heterogêneas, proporcionando diferentes composições dentro do mesmo sistema (Figura 2), a utilização desta estrutura no desenvolvimento de cobogós indica maior variação em suas capacidades térmicas.

Figura 2 – Malha homogênea do cobogó tradicional versus malha heterogênea da estrutura voronoi



Fonte: SPLabor (2015) / Estudos autorais

3.2.1 Propriedades térmicas

Não obstante, a argila expandida é um material poroso⁴, segundo Whitaker

⁴ Material que contém poros significativos em sua microestrutura.

(1969), as principais propriedades de um material poroso são a porosidade, permeabilidade e condutividade térmica, tais características determinam o desempenho térmico do material.

- Porosidade – Porcentagem de volume vazio presente em uma quantidade de material é resultado da razão entre o volume de vazios e o volume total da amostra;

$$n = [Vv/(Vv+Vs)].100 \quad (1)$$

- Permeabilidade – Capacidade de o material transmitir fluidos é resultado da razão entre a multiplicação da espessura da amostra com a vazão final do fluido e a multiplicação da seção transversal da amostra, o tempo de escoamento do fluido e a carga hidráulica;

$$k = (Q.L)/(A.t.h) \quad (2)$$

- Condutividade térmica – Capacidade de o material transferir calor de um meio quente para um meio frio é resultado da razão entre a multiplicação da espessura unitária da amostra com a variação de calor e a multiplicação da seção transversal unitária da amostra, o intervalo de tempo entre as trocas de calor e a variação de temperatura entre as extremidades;

$$k = (\Delta Q.L)/(A.\Delta t.\Delta T) \quad (3)$$

A condutividade térmica calcula a transferência de calor por condução, entretanto para calcular a transferência de calor levando em conta a convecção deve-se utilizar a transmitância térmica, resultado do inverso da razão entre a espessura total do material e sua condutividade térmica.

$$U = 1/(e/k) \quad (4)$$

3.3 Desempenho do material

Para investigar o desempenho de um sistema vazado de organização voronoi, buscou-se inicialmente compreender as características e desempenhos dos cobogós comerciais:

- Cobogó Padrão – Forma mais comum de cobogó, sua estrutura baseia-se na subtração de um grid de vazios sobre uma superfície cheia (Figura 3);

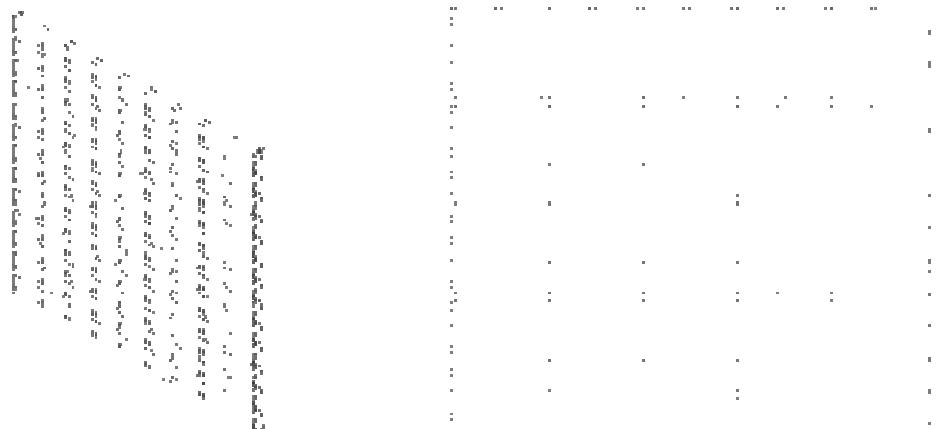
Figura 3 – Representações do cobogó padrão



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Veneziano – Sistema vazado composto de elementos inclinados para proteção da chuva no interior do ambiente (Figura 4);

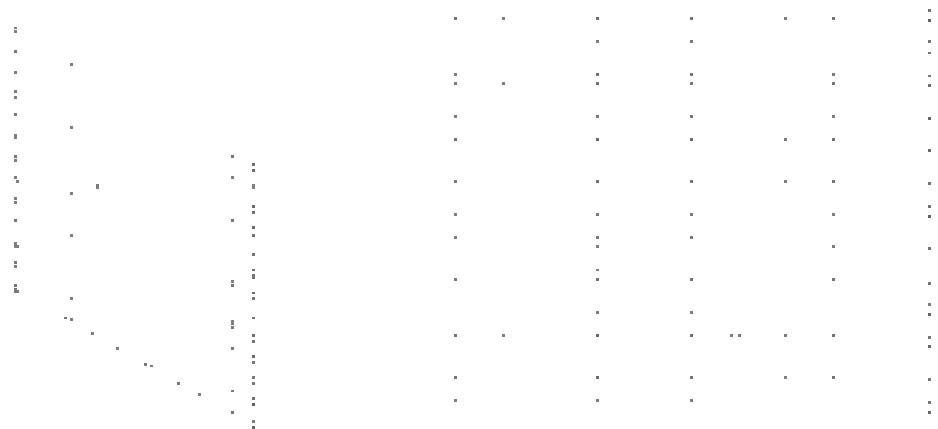
Figura 4 – Representações do cobogó veneziano



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Boca de Lobo – Sistema baseado na ideia de peitoril ventilado, possui elementos de proteção invertidos nas faces externas e internas (Figura 5).

Figura 5 – Representações do cobogó boca de lobo



Fonte: Estudos autorais

Observa-se que a composição desses cobogós está fundamentada, ainda que intuitivamente, nas características de materiais porosos, pois estão estruturalmente baseados em uma relação de cheios e vazios.

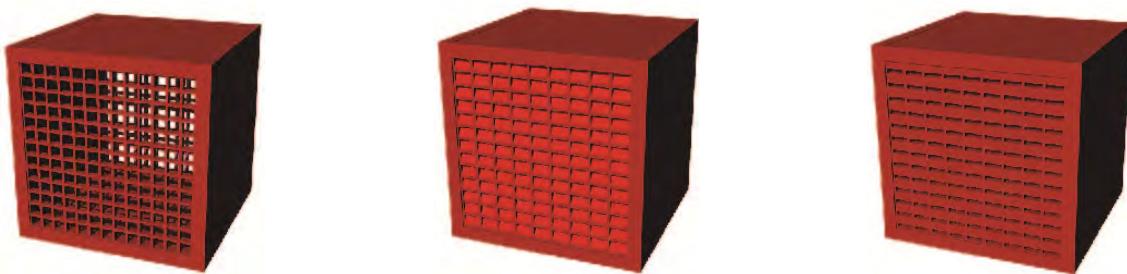
Portanto, para estudar o desempenho térmico dos sistemas vazados foram definidos três itens de análise relacionados com as três propriedades dos materiais porosos:

- Volume de Vazios (“Porosidade”) – Volume de vazios presentes em um sistema vazado, medido em porcentagem;
- Velocidade da Ventilação Interna (“Permeabilidade”) – Velocidade com que o vento percorre o interior de um ambiente que possui um sistema vazado em uma ou mais de suas superfícies externas, medida em km/h;
- Temperatura Interna (“Transmitância Térmica”) – Temperatura medida no interior de um ambiente que possui um sistema vazado em uma ou mais de suas superfícies externas, medida em °C.

Visando analisar o desempenho desses sistemas em função das propriedades foi desenvolvido um modelo virtual, utilizando o software Rhinoceros (McNeel & Associates, 2014), cúbico de 3m de lado, com espessuras de paredes e lajes de 20 cm, apresentando sistemas vazados idênticos em duas faces opostas, para garantir equidade de fatores ambientais na análise (Figura 6). Segundo Bittencourt; Cândido (2010), essa simetria é uma condição fundamental para a análise das propriedades em função da porosidade.

Para construções apresentando aberturas de entrada e saída iguais, a média da velocidade interna de ar é função da porosidade da construção, representada pela razão do total da área aberta dividida pela área da parede, independentemente da direção do vento. (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 54).

Figura 6 – Modelos desenvolvidos para análise



Fonte: Estudos autorais

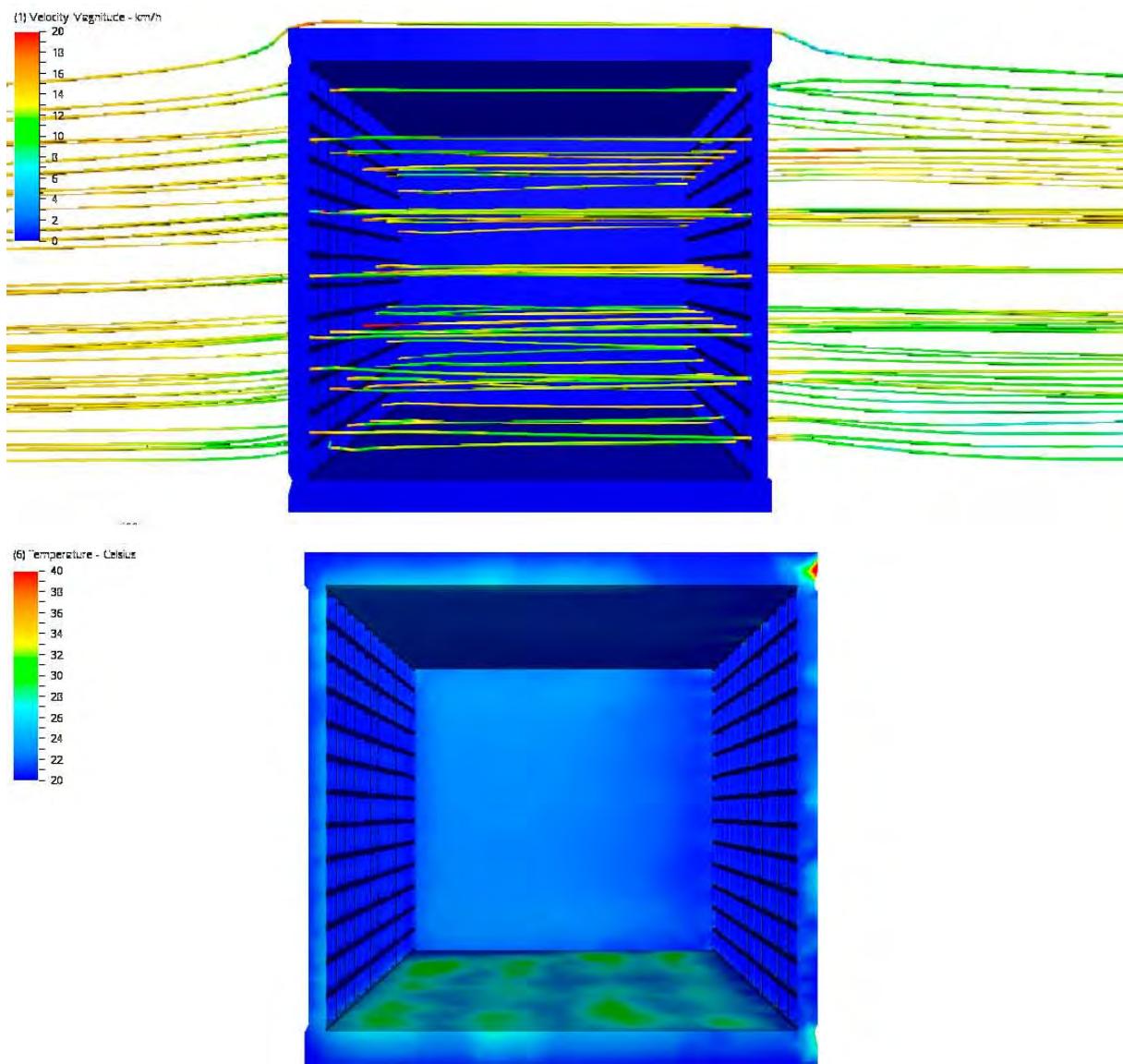
3.3.1 CFD (Control Fluid Dynamics)

O desempenho desses sistemas foi simulado através do software CFD (Autodesk Inc., 2015), tal software pode ser utilizado para análise de condições ambientais de edificações. Para configuração ambiental o software utiliza informações de coordenadas geográficas, data e hora e orientação do modelo. Além de um invólucro no qual são aplicadas as configurações ambientais como, velocidade do vento e temperatura externa.

Para efeito de análise foram determinadas condições ambientais idênticas, baseadas no clima recifense, em todos os modelos, tais como, incidência solar segundo as coordenadas da Cidade do Recife, 8°3'S e 34°52'W, data de análise 22/12 (solstício de verão no hemisfério sul), horário de análise 12h00min, presença dos sistemas nas fachadas leste e oeste, velocidade do vento a 15km/h (velocidade média do vento em Recife) e temperatura externa de 27°C (temperatura média de Recife no verão) APAC (2015).

- Cobogó Padrão – Este sistema possui volume de vazios de 39%, a velocidade de ventilação interna predominou em 14km/h com poucas variações, isto deve-se a abertura deste sistema que permite maior fluidez do vento e uma moderada incidência solar, propiciando a elevação da temperatura interna que pode chegar, em certos pontos, próxima a 32°C (Figura 7);

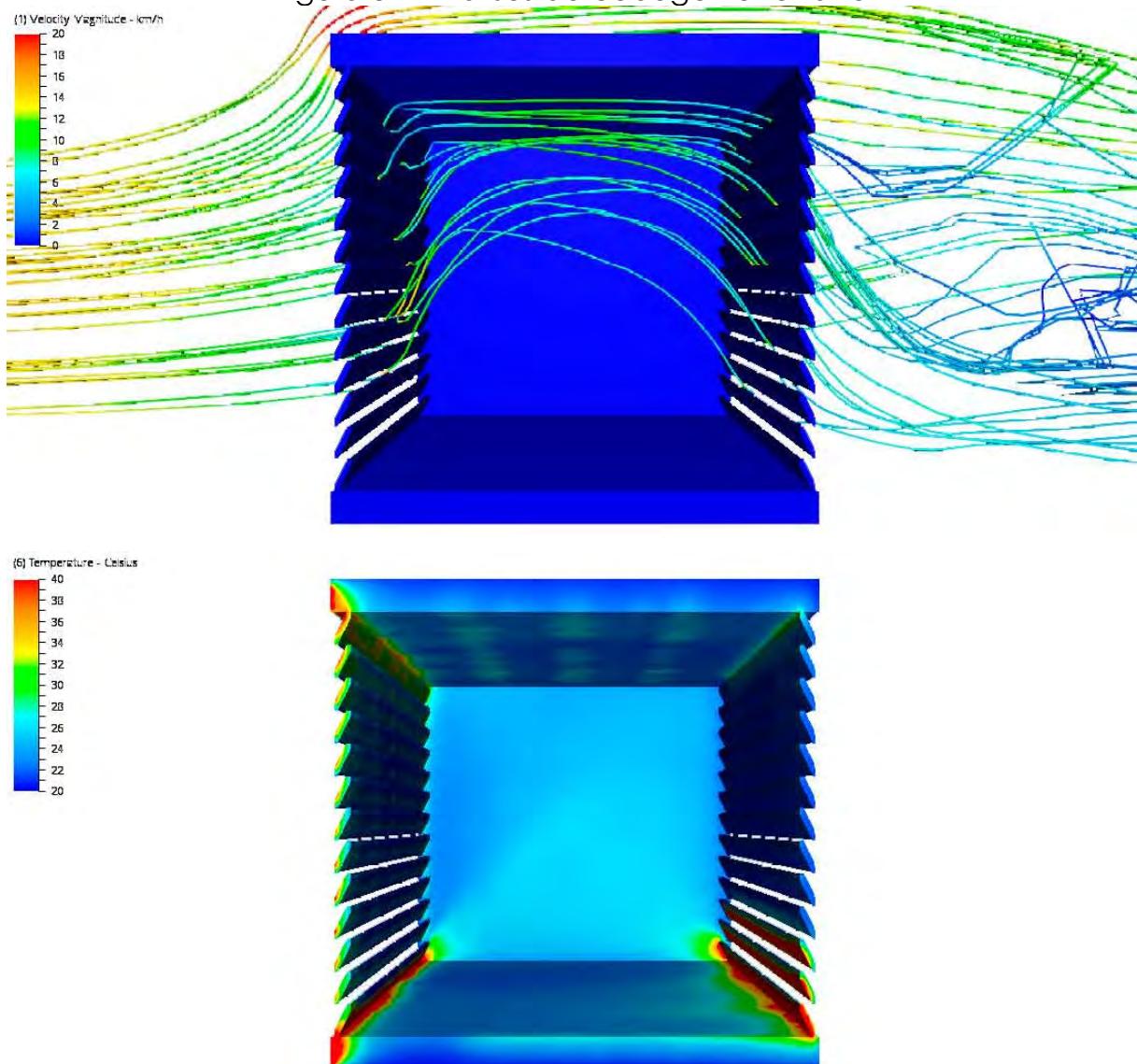
Figura 7 – Análises do cobogó padrão



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Veneziano – Este sistema possui volume de vazios de 36%, a velocidade de ventilação interna predominou em 10km/h com variações chegando a 6km/h, isto deve-se à composição inclinada do elemento que controla moderadamente o acesso da ventilação e diminui a incidência solar, permitindo temperaturas internas mais amenas em relação ao sistema anterior, em torno de 27°C (Figura 8);

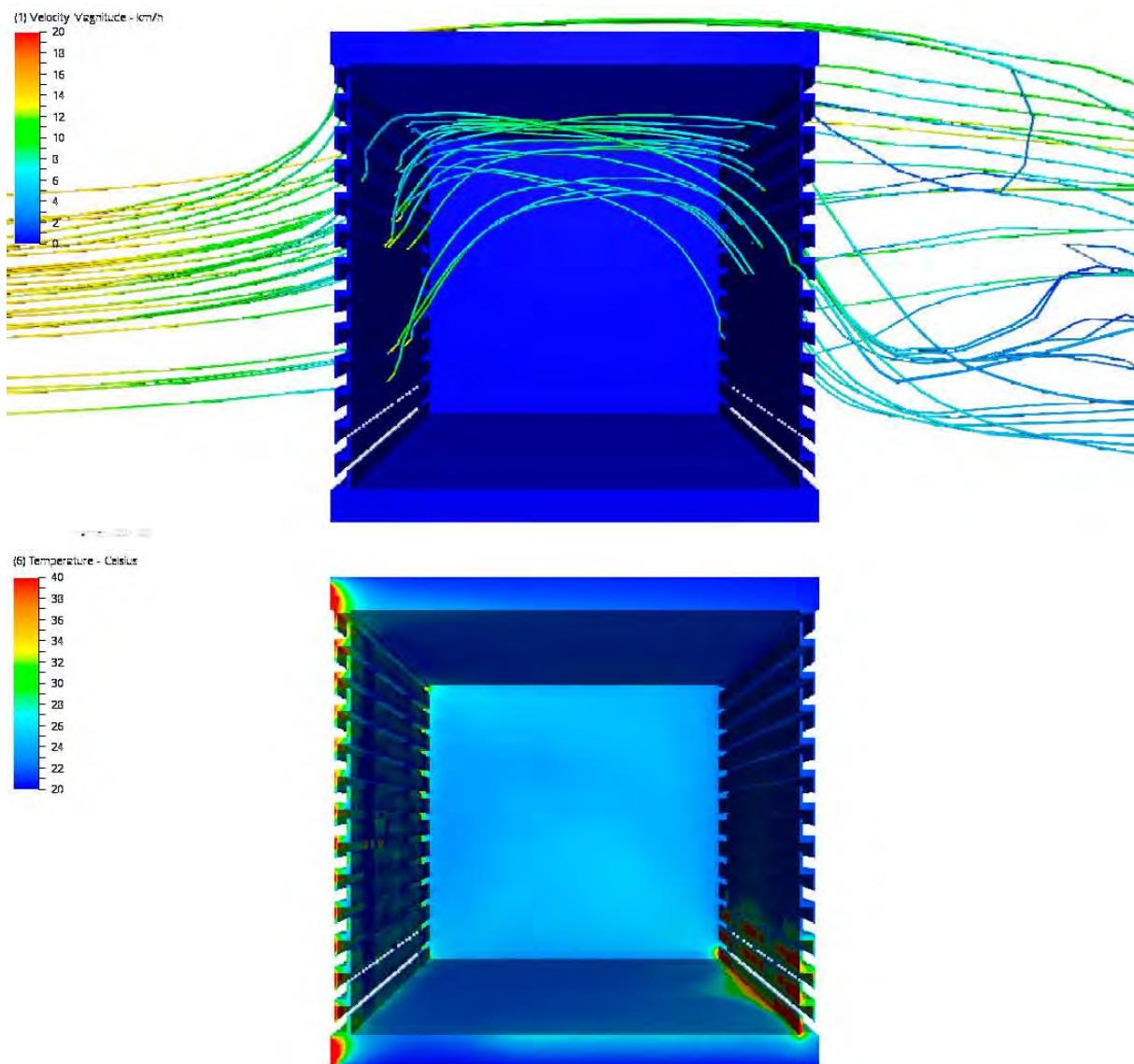
Figura 8 – Análises do cobogó veneziano



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Boca de Lobo – Este sistema possui volume de vazios de 34%, a velocidade de ventilação interna predominou em 8km/h com poucas variações, isto deve-se ao fechamento do sistema que dificulta o acesso da ventilação, mas impede a incidência solar, alcançando temperaturas internas similares ao veneziano, em torno de 26°C (Figura 9).

Figura 9 – Análises do cobogó boca de lobo



Fonte: Estudos autorais

Apesar da pequena variação do volume de vazios, cada sistema responde diferentemente às mesmas condições ambientais, isso ocorre pela forma como tais vazios organizam-se dentro do sistema. As diferentes capacidades térmicas destes sistemas determinam a utilização de um ou outro em um projeto arquitetônico.

Assim, para estudar o desempenho de um cobogó de estruturação voronoi, foi desenvolvido um modelo com o mesmo volume de vazios do cobogó padrão, 39%.

- Cobogó Voronoi (39%) – Tipologia de sistema vazado de estruturação voronoi que possui 39% de volume de vazios (Figura 10).

Figura 10 – Representações do cobogó voronoi (39%)

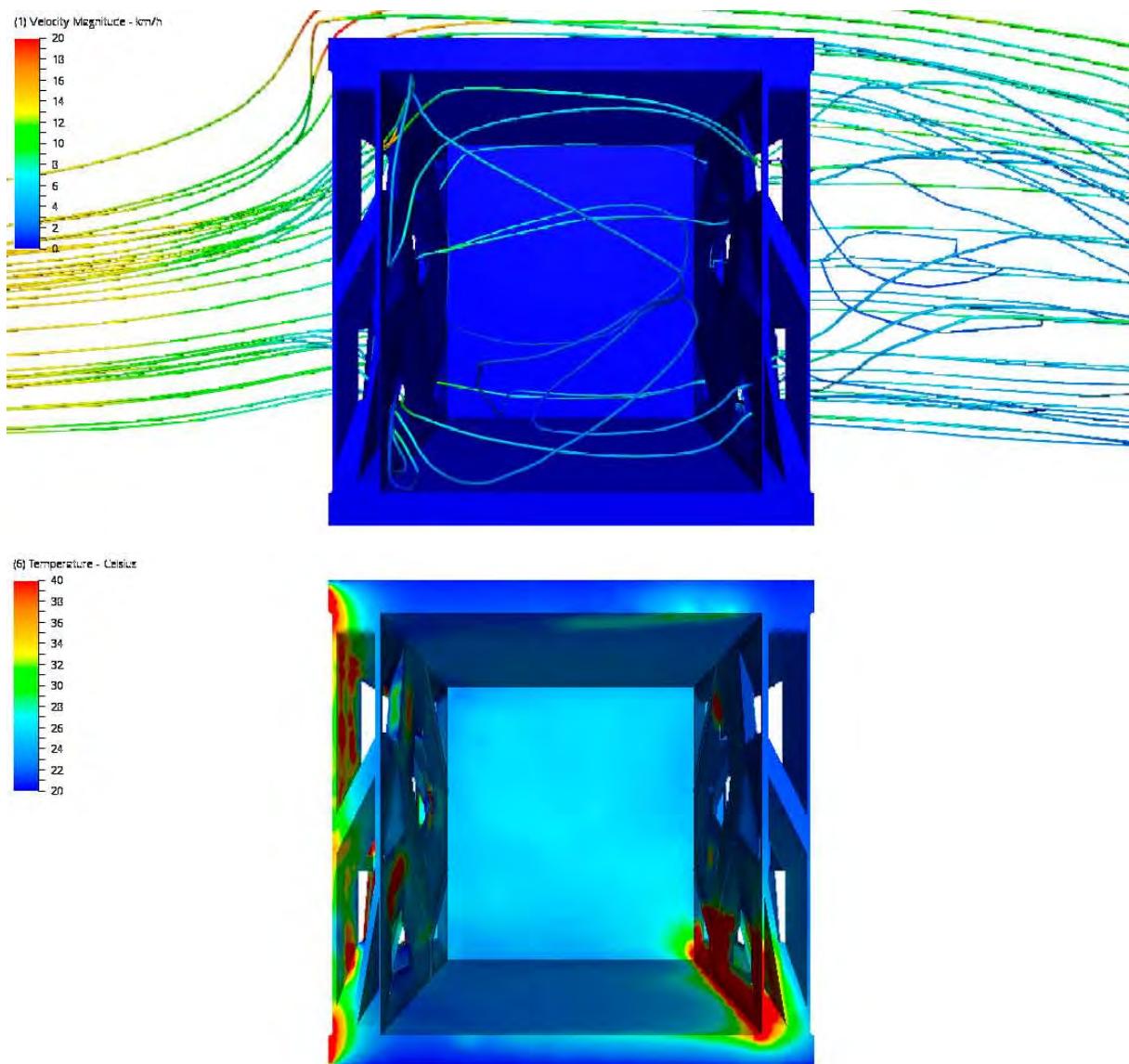


Fonte: Estudos autorais

O mesmo modelo digital construído para análise dos cobogós padrões de mercado foi utilizado para análise deste sistema, assim como foram definidas as mesmas condições ambientais no CFD (Autodesk Inc., 2015).

- Cobogó Voronoi (39%) – A tipologia com 39% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 8km/h com variações chegando a 9km/h, isto deve-se à organização complexa dos vazios dentro do sistema que cria canalizações da ventilação e permite um maior controle da incidência solar, em relação ao cobogó padrão, apresentando temperaturas internas em torno de 25°C (Figura 11).

Figura 11 – Análises do cobogó voronoi (39%)



Fonte: Estudos autorais

Percebe-se assim uma possível ampliação do desempenho térmico com a utilização do sistema voronoi, pois ainda que a velocidade de ventilação interna seja menor, há uma significativa diminuição da temperatura interna.

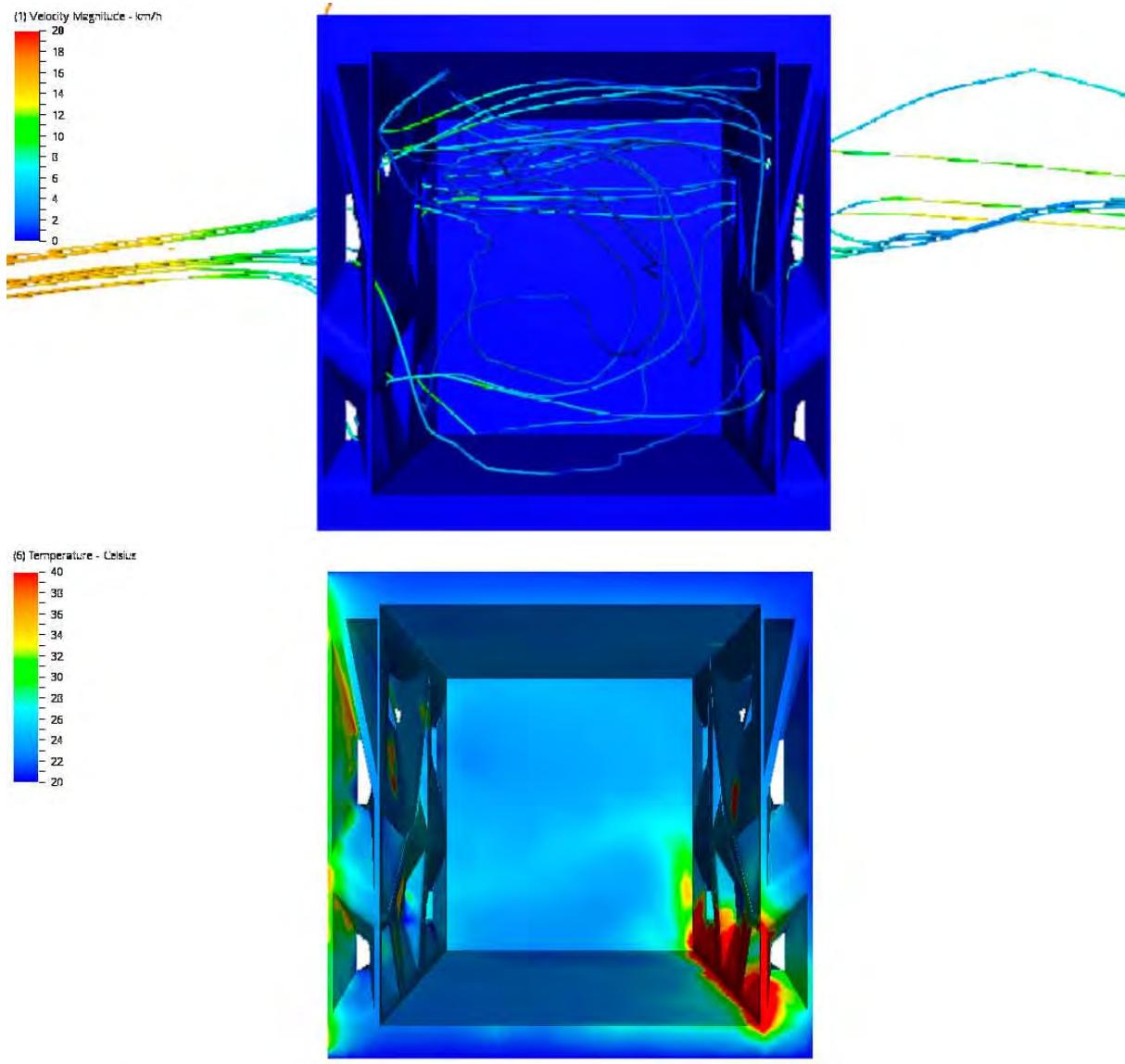
Baseado nesses resultados foi desenvolvido um método projetual de sistemas vazados de estruturação voronoi que, diferente dos padrões comerciais onde as variações de desempenho são alcançadas pela diferenciação da forma, é o controle do volume de vazios que regula tais variações. Foram desenvolvidos três modelos possuindo volume de vazios de 25%, 50% e 75%. Procurou-se ainda observar o desempenho dessas variações.

Para análise de desempenho dos protótipos foi desenvolvida a mesma estrutura espacial, assim como as propriedades e condições climáticas das análises anteriores.

- Cobogó Voronoi (25%) – A tipologia com 25% de volume de vazios atinge

uma velocidade de ventilação interna de 6km/h com variações chegando a 8km/h, isto deve-se à presença de aberturas muito pequenas no sistema que permitem a diminuição da temperatura interna, em torno de 24°C (Figura 12);

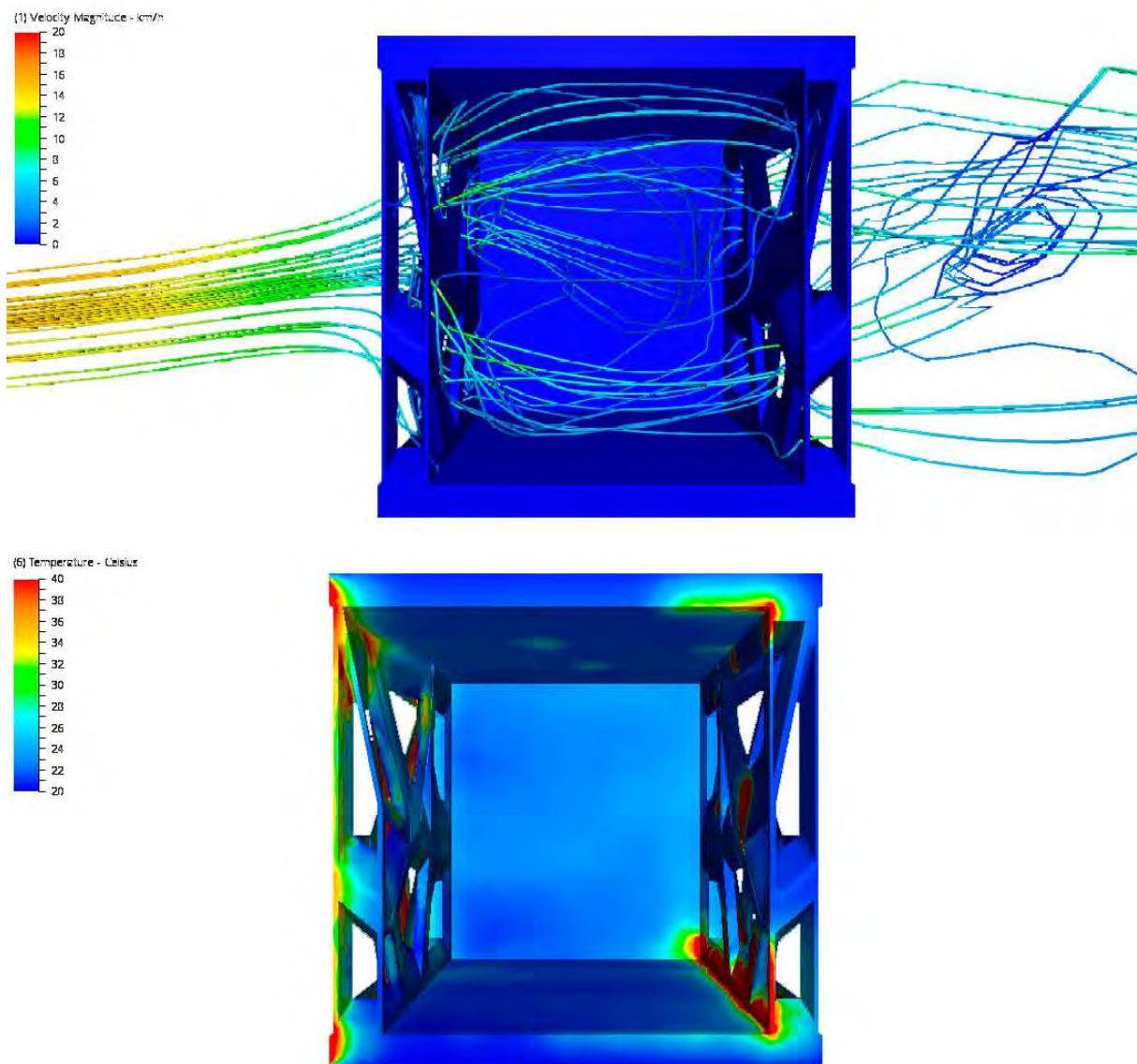
Figura 12 – Análises do cobogó voronoi (25%)



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Voronoi (50%) – A tipologia com 50% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 9km/h com variações chegando a 10km/h, percebe-se a influência do aumento no volume de vazios no aumento da velocidade de ventilação, assim como no aumento da temperatura, em torno de 28°C (Figura 13);

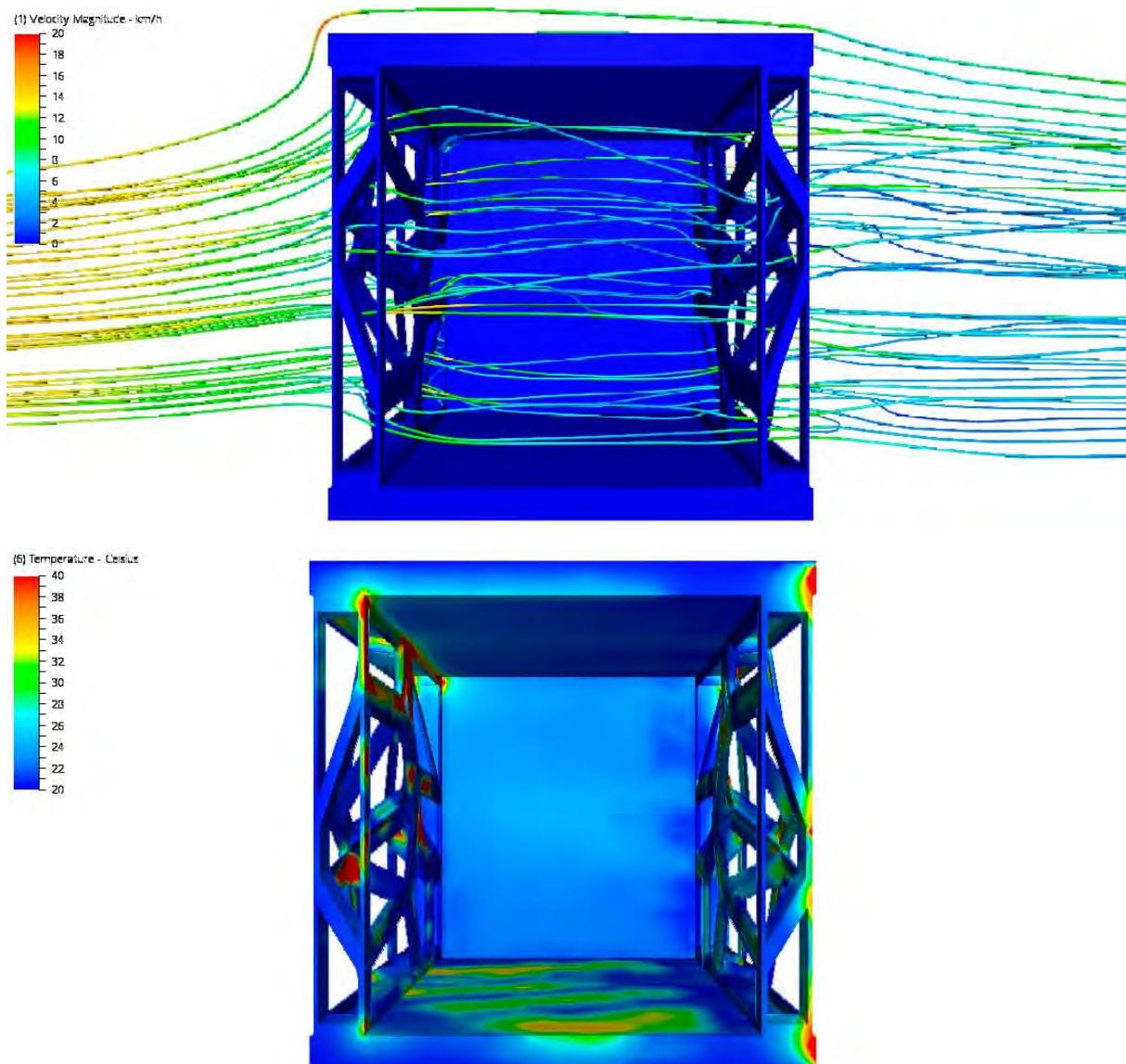
Figura 13 – Análises do cobogó voronoi (50%)



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Voronoi (75%) – A tipologia com 75% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 11km/h com variações chegando a 13km/h, já sua temperatura interna predomina em torno de 34°C. Evidenciando assim, a lógica de aumento da velocidade de ventilação e temperatura com o aumento do volume de vazios (Figura 14).

Figura 14 – Análises do cobogó voronoi (75%)



Fonte: Estudos autorais

As diferentes capacidades térmicas, atingidas pela variação do volume de vazios, podem determinar a utilização de cada sistema em função de especificações climáticas e projetuais, tais como uso do ambiente e orientação da fachada. Assim como há a possibilidade de infinitas variedades de volume de vazios, há também a possibilidade da utilização de mais de um percentual dentro do mesmo sistema, possibilitando um maior controle na concepção do elemento vazado.

3.4 Materialização

A produção tradicional do cobogó baseia-se no preenchimento de um molde para obtenção da forma (VIEIRA et al., 2012). Este modelo de fabricação, apesar de permitir uma produção rápida, restringe a possibilidade de variação de formas e determina uma malha regular de

composição.

Para a produção de um sistema vazado de estruturação voronoi este tipo de abordagem não se mostra vantajoso, pois a produção de moldes para preenchimento das formas complexas resultaria em um trabalho extremamente dispendioso e economicamente inviável. Entretanto, a fabricação aditiva, apresenta-se como uma solução viável para tal produção, pois também se baseia numa lógica de preenchimento para obtenção da forma, dispensando o molde ao utilizar-se de impressoras 3D para realizar a tarefa.

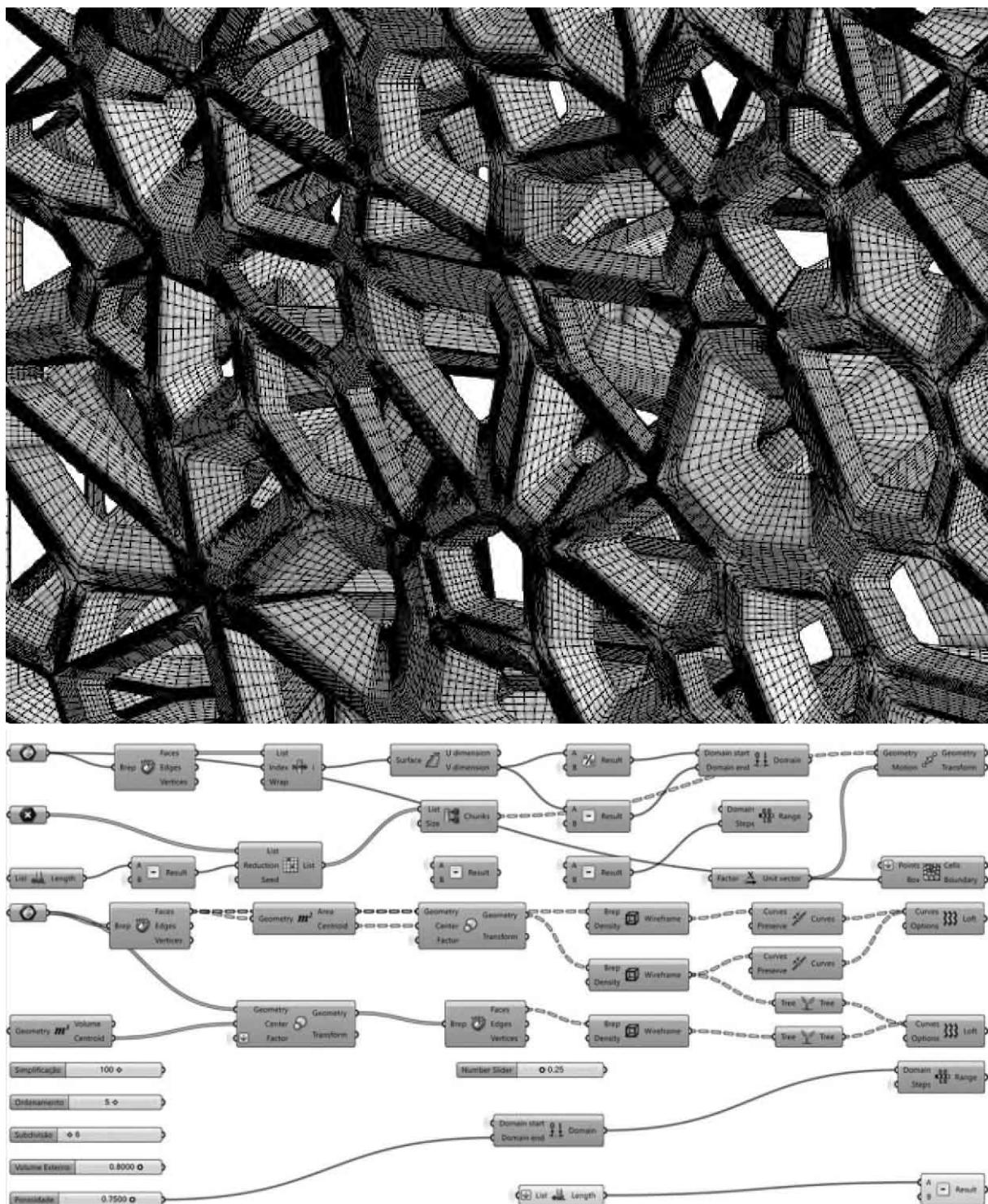
Através desta técnica pode-se viabilizar a fabricação do sistema voronoi de maneira simples, rápida e econômica, facilitando a produção de peças em larga escala, assim como uma alta precisão na geometria das mesmas.

3.4.1 Processo de produção

O sistema voronoi pode ser produzido em larga escala por meio de processos de projeto e produção que envolve as seguintes etapas:

- Modelagem – Na primeira etapa do processo é feita a modelagem do sistema vazado utilizando o software Rhinoceros (McNeel & Associates, 2014) junto ao programa de parametrização Grasshopper (SCOTT, 2014) para controle e decisão das porosidades aplicadas (Figura 15);

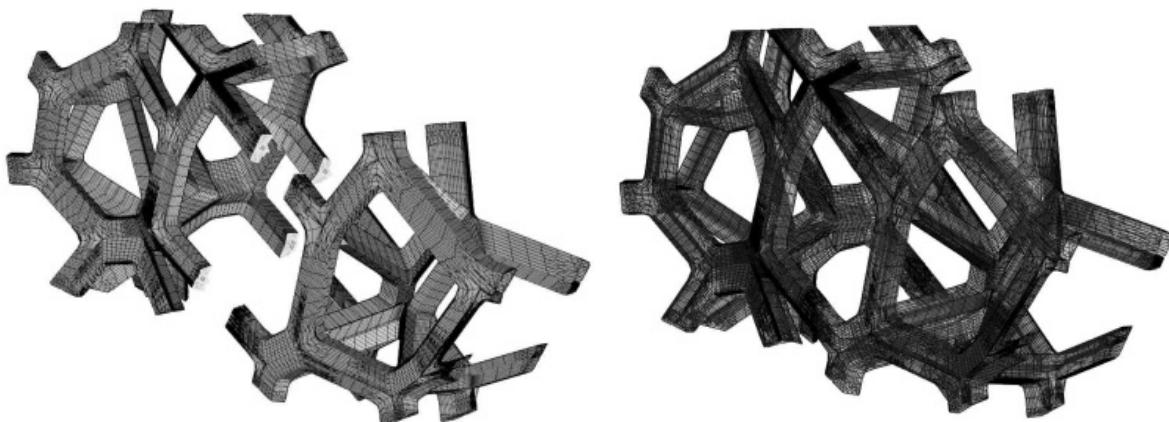
Figura 15 – Modelo e código gerador



Fonte: Estudos autorais

- Divisão – Num segundo momento o sistema vazado é dividido em partes que possuem encaixe através de juntas metálicas (Figura 16);

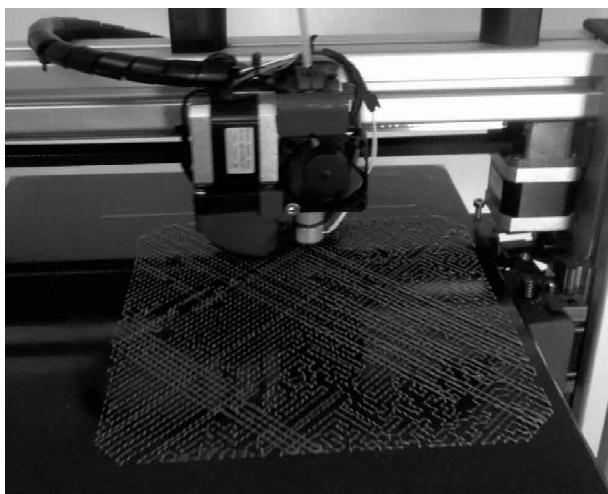
Figura 16 – Divisão e encaixe das partes



Fonte: Estudos autorais

- Prototipagem – Após a divisão dos componentes, cada peça é levada para a fabricação através de impressoras 3D⁵ (Figura 17);

Figura 17 – Prototipagem das peças em impressora 3D

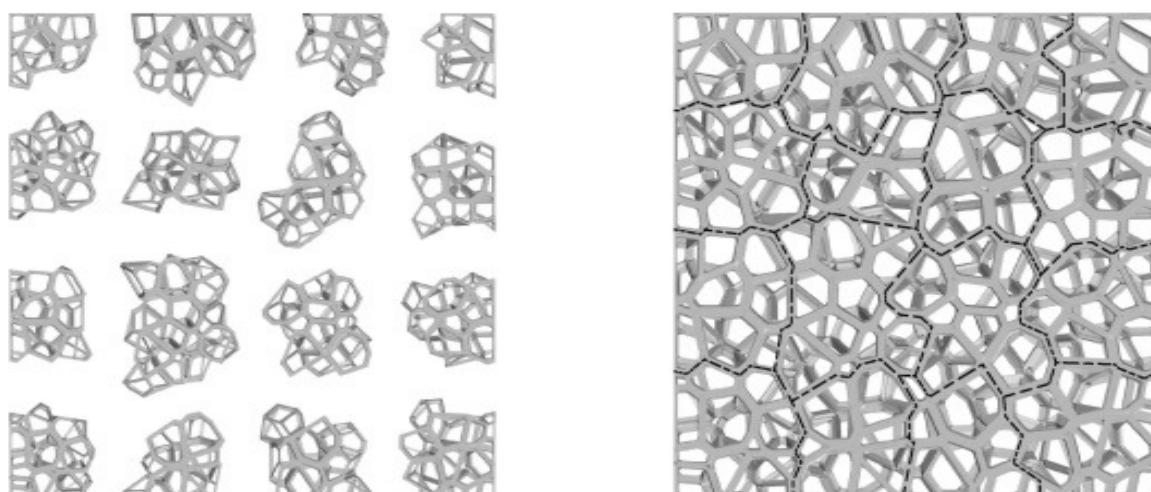


Fonte: Estudos autorais

- Montagem – Por último, as peças produzidas são encaixadas montando o sistema vazado originalmente modelado (Figura 18).

⁵ Não foi possível a utilização de impressoras 3D de cerâmica, entretanto o protótipo foi desenvolvido em uma impressora 3D de PLA de forma elucidativa.

Figura 18 – Montagem do sistema vazado



Fonte: Estudos autorais

Através deste processo podem-se definir os parâmetros de modelagem, produzir e montar uma infinidade de sistemas.

4 CONCLUSÕES

O uso de tecnologias digitais na atualização de estratégias tradicionais de adaptação climática apresentou-se como uma ferramenta para enfrentar problemas contemporâneos. Diversos tipos de abordagens computacionais foram desenvolvidos buscando agregar um valor estético-ambiental a ferramenta.

A computação material apresenta-se como uma forma de alcançar maior integração entre a concepção e a materialidade arquitetônica através da compreensão das propriedades e comportamentos dos materiais para ampliar seus impactos na arquitetura, e pode ser aplicada a concepção de sistemas vazados como alternativa para ampliar seu desempenho térmico, minimizando o problema energético de aparelhos de controle microclimático.

Através do estudo da argila puderam-se perceber relações de desempenho térmico geradas por sua microestrutura interna, permitindo o desenvolvimento de uma metodologia que ampliasse tal efeito na construção.

Embora tenha havido dificuldades técnicas para a realização deste trabalho, como a dificuldade de prototipagem em Recife, assim como o difícil acesso a equipamentos de tecnologia avançada, percebe-se a potencialidade dos sistemas voronoi para responder a condicionantes climáticos e projetuais.

Um futuro aprofundamento nesta pesquisa pode ampliar os efeitos apresentados, assim como apresentar novas possibilidades que não tenham sido constatadas.

REFERÊNCIAS

ABCERAM ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Informações Técnicas – Definição e Classificação. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4> Acesso em: Setembro 2015

AHLQUIST, S.; MENGES, A. **Computational Design Thinking**. Londres: Architectural Design, 2011. 225p.

APAC AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. Meteorologia – Estações do ano. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=verao> Acesso em: Novembro 2015

Autodesk Inc. **Programa Control Fluid Dynamics – versão 2016**. Disponível em: <http://www.autodesk.com/products/cfd/overview> Acesso em: Junho 2015

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: Convênio ECV033/04 realizado entre ELETROBRAS PROCEL e UFAL, 2010. 101p.

HENSEL, M. **Performance-Oriented Design: Precursors and Potentials**. Londres: Architectural Design, 2008. 6p. apud HENSEL, M.; MENGES, A. **Versatility and Vicissitude**. Londres: Architectural Design, 2008. 145p.

HOLANDA, Armando de **Roteiro para Construir no Nordeste**. Recife: UFPE – MDU, 1976. 66p.

McNeel & Associates. **Programa Rhinoceros 3d – versão 5.0**. Disponível em: <http://www.rhino3d.com/download/rhino/5/latest> Acesso em: Março 2014.

MENGES, A. **Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design**. Londres: Architectural Design, 2012. 144p.

SCOTT, Davidson. **Programa Grasshopper – versão 0.9.76.0**. Disponível em: <http://www.rhino3d.com/download/grasshopper/1.0/wip/rc> Acesso em: Março 2014.

TRAN, Q. T. et al. **Reverse k Nearest Neighbor Search on Spatial Networks** Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2009 - 20p. apud HAMEURLAIN, A. et al. **Transactions on Large-Scale Data and KnowledgeCentered Systems**. Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2009 - 374p.

VIEIRA, A. et al. **Cobogó de Pernambuco**. Recife: Luminar, 2012. 27p.

W. G., Moravia et al. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48. 2006, Curitiba. **Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Curitiba: ABCERAM, 2006. p. 193-199.

WHITAKER, S. **Advances in Theory of Fluid Motion in Porous Media** [Artigo da Revista] // Industrial & Engineering Chemistry v.61 - Washington, DC : ACS Publications, 1969.