

**FERRAMENTAS E MODELOS  
TECNOLÓGICOS GERADORES  
DE CASES EM BIOMIMÉTICA**

## **SOBRE OS AUTORES**

**Natália Queiroz** | nataliaqueiroz@labcon.ufsc.br

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/0596645519861791>

Arquiteta e Urbanista pela UFRN. Atuou em pesquisas sobre simulação de ventilação natural no ambiente construído com CFD, Regulamentação de eficiência energética, diretrizes de eficiência energética para edificações e projetos arquitetônicos sustentáveis. Profissionalmente, trabalhou na COELBA no setor de Eficiência Energética com projetos regulamentados pela Aneel e com a etiqueta para edificações do Procel. Atuou no LABCON-UFRN no grupo de coordenação do projeto de pesquisa para formação da Rede Nacional de Eficiência Energética e no desenvolvimento de projetos de edificações bioclimáticas aliados a tecnologias de baixo impacto. Concluiu mestrado em Design de Produto na UFPE trabalhando com conceitos de biomimética no projeto de elementos de sombreamento. Atualmente é doutoranda do programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFSC, abordando integração de estratégias de bioclimatologia e desempenho em projeto associado a processos paramétricos e algorítmicos.

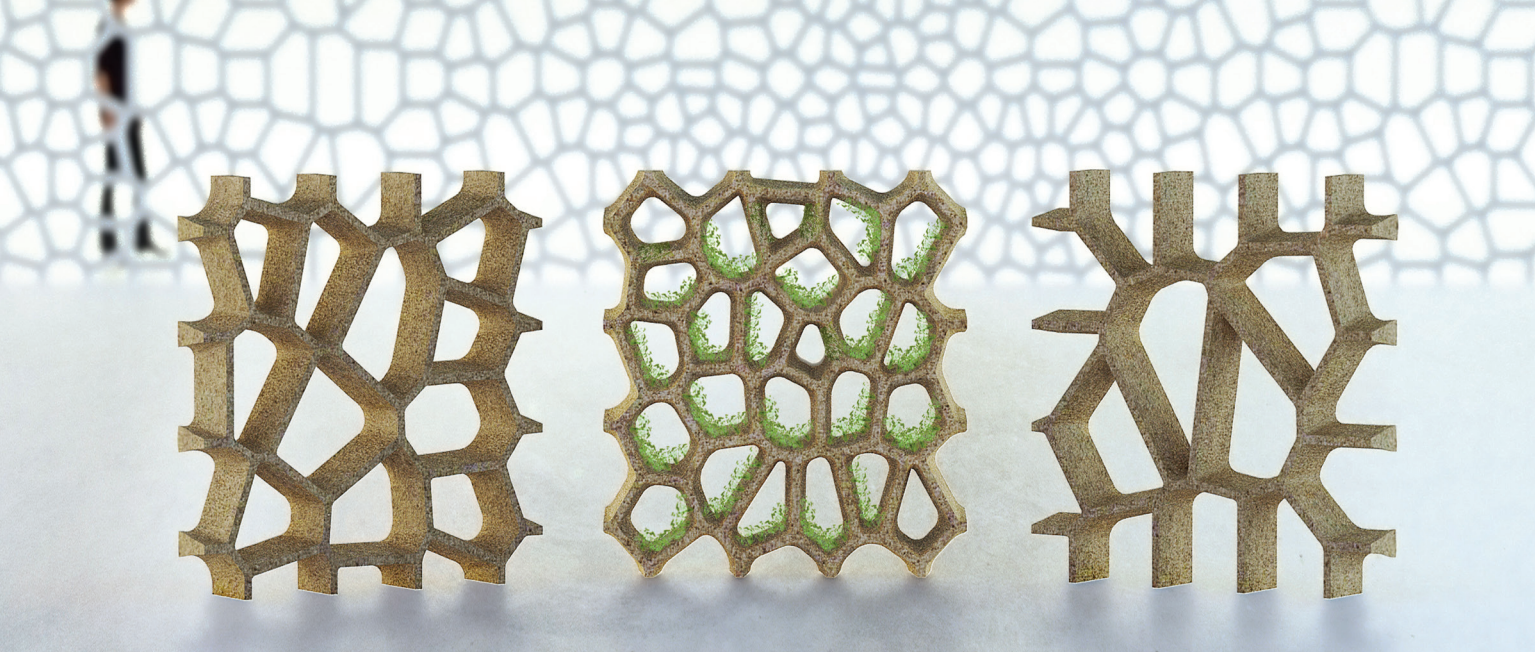
**Ney Dantas** | ney.dantas@gmail.com

*Lattes:* <http://lattes.cnpq.br/3943497493556232>

PhD – Architectural Association School Of Architecture (1998). COACH, SLAC/ICI. Pesquisador da Pós-Graduação de Design, professor do Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco.

Busca soluções inovadoras incrementais e radicais que possam fazer a diferença na solução de grandes desafios da contemporaneidade como: riscos e vulnerabilidades causados por eventos climáticos extremos; desenvolvimento humano (coaching); melhoria da qualidade de vida das cidades (CityCoaching), etc.

Estas inovações podem se manifestar, por exemplo, sob a forma de um novo material, uma otimização de processo ou o desenvolvimento de ferramentas sociotécnicas e ambientes virtuais de interação.



## Elementos Vazados Geradores de Microclima: Biomimética, Concepção, Prototipagem e Análise

### *Microclimate Generator Screen Wall: Biomimetics, Design, Prototyping and Analysis*

Natália Queiroz | Ney Dantas

#### **Resumo**

Este capítulo tem como objetivo investigar potencial da integração entre parametrização da forma, prototipagem rápida e preceitos biomiméticos, em resposta a questões bioclimáticas apresentadas por um artefato gerador de microclima para o clima quente e úmido. Este artefato funcionaria como sombreador paramétrico e concomitantemente, elaborado de forma a mitigar o efeito de ilha de calor. Os procedimentos metodológicos desta pesquisa são baseados no método desenvolvido pelo Biomimicry Group 3.8 (2011). A pesquisa utiliza métodos qualitativos e quantitativos em um estudo de caso dividido em cinco etapas. Primeiro é realizado uma contextualização através de uma revisão bibliográfica e do estudo de modelos naturais que evoluíram de forma a mitigar o calor. Segundo, é estabelecido princípios e critérios de design utilizando técnicas de brainstorm. Terceiro, estabelece um modelo paramétrico/algorítmico que colabora com a produção de modelos responsivos a partir da inclusão de uma simulação de incidência de radiação. Quarto, utiliza prototipagem rápida e técnicas de formação para materializar o protótipo idealizado. Quinto, apresenta uma avaliação comparativa do desempenho térmico dos materiais aplicados nos protótipos.

**Palavras-chave:** Bioclimatologia; Biomimética; Parametrização; Fabricação digital;

#### **Abstract**

*This paper aims to investigate the potential integration of parameterization, rapid prototyping and biomimetic principles, in response to bioclimatic issues presented by a microclimate generator artifact for the hot and humid climate. This artifact functions as parametric shading device and, concomitantly assists in mitigating the heat island effect. The research uses qualitative and quantitative methods through a case study divided into five stages. First it is conducted a contextualization through a literature review and study of natural models that have evolved to mitigate the heat. Second, it established principles and design criteria using brainstorming techniques. Third, it was established a parametric/algorithmic model that works with the production of responsive models from the inclusion of a radiation incidence of simulation. Fourth, it uses digital manufacturing tools for rapid prototyping and training techniques to materialize the idealized model. Fifth, presents a comparative evaluation of the thermal performance of materials used in prototypes.*

**Keywords:** Bioclimatology; Biomimicry; Parameterization; Digital fabrication;

*O estudo de caso proposto nesse capítulo venceu o Prêmio Museu da Casa Brasileira, categoria protótipo de construção, em 2016.*

*Capítulo modificado e inicialmente publicado no livro Modelos e protótipos do LM+P, UFPB.*

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição e impacto ambiental provocados pela construção civil causam várias consequências, tais como: mudança da paisagem natural, aquecimento das áreas urbanas (efeito de ilha de calor), aumento do consumo de energia, aumento da poluição, dentre outros. Um projeto de arquitetura que não respeita a paisagem e a infraestrutura local contribui para o aparecimento de graves problemas urbanos. Entre os principais está o aumento da temperatura e poluição nas concentrações urbanas.

A crescente valorização da arquitetura sustentável e a necessidade de revisão dos valores vêm trazendo abordagens mais complexas. A concepção do projeto passou a ser mais criteriosa e prever medidas conservacionistas. Os estudos sobre complexidade nas últimas décadas também ascendem à importância de uma visão mais holística em projeto. Dentro desse contexto, uma das correntes de pesquisa em crescimento é a Biomimética. A biomimética trata do estudo das lógicas da natureza, modelos e performance visando aplicação aos artefatos e atividades do homem.

Concomitantemente as discussões de sustentabilidade, a produção de projetos de arquitetura vem passando por mudanças de paradigma, algo semelhante ao período de popularização do acesso a computação gráfica. Na última década, vem ocorrendo uma difusão de técnicas de modelagens que utilizam processos algorítmicos e paramétricos, além da popularização da fabricação digital. Ambos colaboram com a eficientização de processos e possibilitam realizar links com simulação e bases de dados que colaboram na criação de soluções eficientes e até inovadoras. A fabricação digital facilita processos de prototipagem rápida, estudo de sistemas novos e até produção de elementos arquitetônicos.

Este trabalho aborda o link que pode ser estabelecido entre a biomimética, modelagem paramétrica/algorítmica e prototipagem. As três áreas em conjunto, podem colaborar com a criação de elementos arquitetônicos mais eficientes, otimizados, possibilitando a inclusão de bases de dados e simulações de desempenho para estabelecer soluções e guiar a produção de formas complexas. Com base nesses argumentos, este trabalho foca neste elo como tendo potencial para pesquisas na área de projeto, arquitetura e *design* sustentável.

O objetivo é investigar o potencial da integração entre parametrização da forma, prototipagem rápida e preceitos biomiméticos, em resposta a questões bioclimáticas para o clima quente e úmido. O trabalho utiliza um estudo de caso apresentado por um artefato gerador de microclima. Este artefato funcionaria como sombreador paramétrico e concomitantemente, responde, de forma a mitigar o efeito de ilha de calor. O universo de estudo é a Região Metropolitana de Recife-PE, porém a discussão é válida para climas quentes e úmidos semelhantes a Recife.

O trabalho aplica metodologia desenvolvida pelo *Biomimicry group 3.8* que visa gerar soluções biomiméticas. Utiliza estratégias de emulação e identificação de soluções da natureza para mitigação da influência do calor (elenco de

princípios biomiméticos). Estabelece abordagem de modelagem paramétrica (a partir das condições de contorno e soluções preestabelecidas nos estudos de biomimética). Construção de protótipos e análise.

Este trabalho é uma pesquisa exploratória e utiliza métodos mistos para realizar um estudo de caso. Utiliza métodos qualitativos e quantitativos e está dividida em cinco partes: primeiro é realizada uma contextualização através de uma revisão bibliográfica e do estudo de modelos naturais que evoluíram de forma a mitigar o calor. Segundo, são estabelecido princípios e critérios de design utilizando técnicas de *brainstorm*. Terceiro, estabelece um modelo paramétrico/algorítmico que colabora com a produção de modelos responsivos a partir da inclusão de uma simulação de incidência de radiação. Quarto, utiliza prototipagem rápida e técnicas de formação para materializar o protótipo idealizado. Quinto, apresenta uma avaliação comparativa do desempenho térmico dos materiais aplicados nos protótipos.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A etapa de contextualização aborda questões como Biomimética, sua conexão com a bioclimatologia e o estudo de modelos naturais que colaboram com a mitigação de calor. Essa etapa serve de base teórica para elaboração do *brainstorming* e início do estudo de caso do artefato.

### 2.1 Biomimética, a busca por uma visão holística do projeto sustentável

Biomimética visa o estudo dos fluxos e lógicas da natureza como princípio e inspiração para solução de problemas de design. A palavra **biomimetismo** se origina no grego: *bio* – vida mais *mimetikos* – imitação. Segundo Benyus (1997), a Biomimética busca compreender a ordem natural das coisas, uma compreensão complexa do ecossistema para promover uma real adaptação do homem ao meio. A autora acredita que a natureza deve ser vista como **modelo**, **medida** e **mentora** do *design*, sendo esse o princípio-base da biomimética. Sendo a natureza um meio lógico de inspiração para projeto, que poderia eficientizar todos os processos humanos. A Tabela 1 apresenta diferenças entre sistemas humanos e sistemas naturais.

Essa visão envolve uma observação cuidadosa de princípios comuns responsáveis pela “sustentabilidade” do ecossistema. Dessa forma, traduzir esses princípios em conceitos de projeto. Incorporando-os em produtos, processos, espaço físico e outras atividades de projeto. Em 2011 uma série de princípios foi aperfeiçoada para colaborar com a melhoria de processos em diversas áreas de atuação humanas. Foram nomeadas de “princípios da vida”. Esses princípios impactam na revisão dos processos, gerenciamento de dados e modelos de equipes de trabalho. São seis princípios ao todo (Tabela 2):

Em arquitetura é importante a adequação desses princípios visando criação de métodos mais responsáveis de projeto. Segundo Gruber (2011); biomimética na arquitetura, não implica apenas em biomorfismo. A **mera transferência da forma é insuficiente** para trazer qualidades à construção. O princípio da

biomimética está relacionado à criação rigorosa de construções leves, do planejamento do uso ativo e passivo de energia e da investigação de processos naturais e princípios do meio ambiente.

A área de arquitetura que investiga princípios passivos de prover condições climáticas confortáveis e adequadas energeticamente é a bioclimatologia. Compreende a interseção de soluções com o clima e os efeitos em cadeia que o projeto arquitetônico pode causar (Roaf *et al.*, 2001). O principal propósito da arquitetura bioclimática é encontrar soluções adequadas localmente para prover conforto, bem-estar e eficiência energética. As áreas de biomimética e bioclimatologia possuem uma conexão direta, que pode ser explorada em arquitetura.

Olgyay e Olgyay (1963), acreditava que a expressão arquitetônica deveria ocorrer em simbiose com mais três variáveis: a climática, a biológica e a tecnológica. Sendo a variável climática relacionada ao lugar onde será construído, as variáveis biológicas relacionadas às necessidades humanas e naturais, e a variável tecnológica que estão relacionadas às soluções e fabricação. O conjunto das três permitiria uma unidade arquitetônica balanceada climaticamente.

## 2.2 Forma em simbiose com desempenho

Oxman (2010) Também apresenta um modelo para identificar um projeto com inspiração na natureza. Segundo a autora, os artefatos humanos necessariamente não são sustentáveis. Atualmente este título é cunhado por projetos que buscam pela redução da emissão de gás carbônico na atmosfera. Sendo que, sustentabilidade significa uma relação de simbiose entre objetos artificiais e naturais. O homem está longe de chegar a esse nível, sendo a proposta ir diminuindo essa distância, até um ponto que os processos e artefatos tornem-se mais integrados ao meio (OXMAN, 2010).

Oxman (2010) Identifica meios para atrelar a forma a questões de desempenho. As suas explorações usam lógicas da natureza para criação de artefatos otimizados segundo desempenho pretendido inicialmente em projeto. Segundo a autora, o processo de criação da natureza é integrado ao material e forma aplicados. Determinado ser vivo tem densidade óssea, forma, camadas de tecido etc., para responder de forma eficiente ao seu meio natural.

O diagrama-modelo que guiou sua pesquisa apresenta uma definição sobre performance (Figura 1). O diagrama ilustra como as várias motivações de projeto podem ser integrados através da busca pela performance. Considerações a partir do domínio da geometria, materialidade, fabricação, montagem lógica, comportamento humano e meio ambiente são justapostas para dirigir o processo de geração da forma. O processo de projeto ideal, segundo Oxman (2010), indissocia a **modelagem, análise e fabricação**, que deveriam ser vistos como interdependentes. As restrições inerentes aos processos devem ser reduzidas gradativamente a ponto de integrar estas três etapas. Em seu trabalho a integração é realizada a partir de modelos paramétricos que inclui simulações de desempenho e algoritmos que geram forma com base nos dados de desempenho e estratégias de montagem pretendidos.

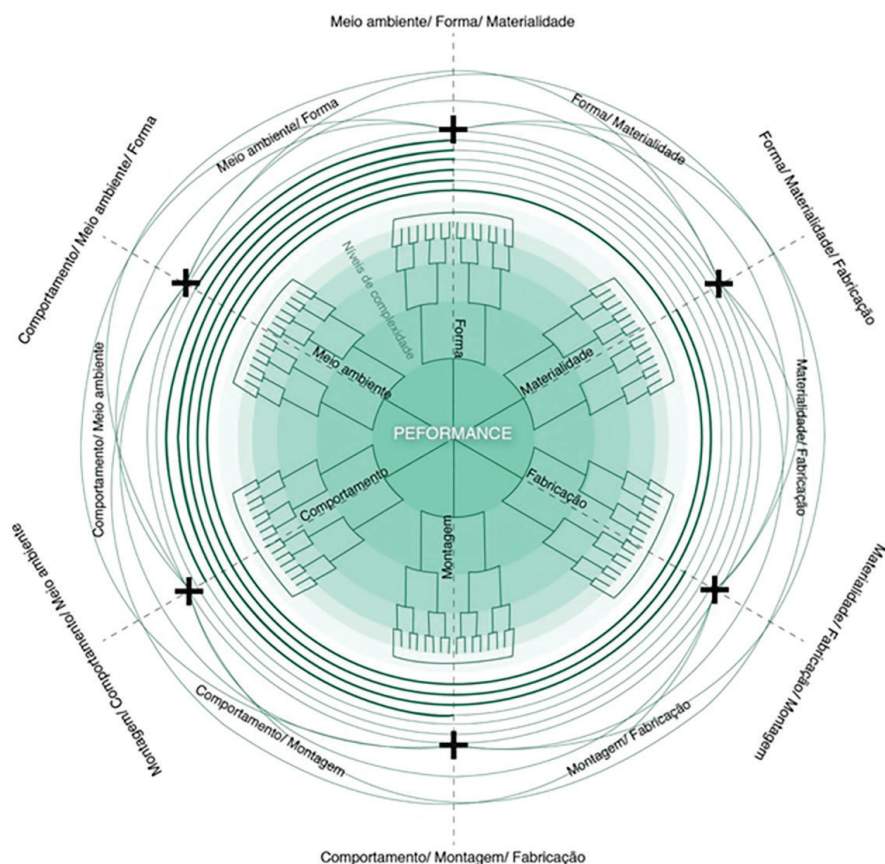


Figura 1: Definição de performance. Fonte: Traduzido e adaptado pela autora a partir de Oxman (2010).

### 2.3 Estudos de modelos naturais para mitigação de calor

O efeito de ilha de calor é o fenômeno de mudança climática mais característica da urbanização. É caracterizado pelo aumento de temperatura em determinadas áreas dentro de uma mesma cidade. Materiais desempenham um papel muito importante e são determinantes no balanço térmico no ambiente urbano.

Segundo (Yang *et al.*, 2015) A lista de estratégias ainda relevantes para mitigação do efeito de ilha de calor, são: o uso de **pavimentos reflexivos, telhados verdes, phase-change materials**<sup>1</sup> e uso de **superfícies permeáveis**. Gago *et al.* (2013) apresentam um conjunto de cuidados que vão desde o planejamento urbano até o planejamento de edifícios. Segundo o autor, existem três elementos a serem considerados no planejamento urbano, que têm um grande impacto sobre a variação de temperatura na cidade em escala local: edifícios, espaços verdes, e pavimentos.

A distribuição de edifícios e de estruturas urbanas de uma cidade afetam a formação da ilha de calor, uma vez que esta distribuição geralmente determina a absorção da radiação solar e a formação de fluxos de ar. Segundo o autor, a geometria urbana pode influenciar em até 30% do consumo de edifícios comerciais. A aplicação de medidas destinadas a combater ou atenuar o efeito de ilha de calor depende de uma ampla gama de fatores, alguns dos quais podem ser incorporados em estratégias de planejamento, enquanto outros estão fora do âmbito da utilização<sup>1</sup> e da geometria dos espaços.

<sup>1</sup> Não traduzido para o português. O termo se refere a materiais capazes de armazenar e libertar grandes quantidades de energia. O calor é absorvido ou liberado quando o material muda de estado físico. Podem ser orgânicos, inorgânicos, compostos e/ou serem materiais higroscópicos (materiais que acumulam água, o efeito é possível através da mudança do estado físico da água).

Parques e espaços verdes ajudam a mitigar o efeito de ilha de calor e reduzir o consumo de energia de edifícios além de estabilizar as temperaturas causadas por materiais de construção. Segundo Gago *et al.* (2013) Cobertura vegetal melhora o desempenho energético dos edifícios, bem como as condições ambientais da área circundante. Se o coeficiente de albedo é aumentado, é possível realizar economias de energia diretas de 20 a 70%.

Santamouris (2014) organiza essas variáveis que influenciam no balanço energético. O autor apresenta quatro classificações de variáveis que preponderantes no desempenho de superfícies arquitetônicas vegetadas quanto a redução do efeito de ilha de calor:

- **Variáveis climatológicas:** Em particular a radiação solar, temperatura ambiente, umidade ambiente, velocidade do vento e precipitação. A intensidade da radiação solar determina em grande parte da temperatura de armazenagem de calor das superfícies, bem como a quantidade de calor transmitido para a construção e a evaporação. As características espectrais da radiação solar incidente, também são importantes. A cor, a umidade e a estrutura das camadas variam a transmitância, refletância e a absorvância dos materiais. A temperatura ambiente é uma variável chave e determina a quantidade de calor sensível liberado pelos materiais. A velocidade do vento e turbulência atmosférica define o coeficiente de transferência de calor entre a superfície e a atmosfera e determina o fluxo de calor sensível. Velocidades de vento mais altas aumentam o fluxo de calor sensível e evapotranspiração de superfícies vegetadas.
- **Variáveis ópticas:** Em particular, o albedo de radiação solar e da emissividade das superfícies. Altos albedos diminuem a absorvância e a acumulação de calor e diminui a sua temperatura de superfície. A emissividade das superfícies define a sua capacidade de dissipar o calor através da emissão de radiação infravermelha. Valores de emissividade mais elevados correspondem a temperaturas de superfície mais baixos e maior potencial de mitigação. O valor típico de emissividade para um telhado verde varia de 0,9 a 0,95, dependendo do tipo de plantas (Gates, 1980 *apud* Santamouris, 2014). As plantas absorvem energia radiante para melhorar a fotossíntese biológica impedindo a absorção da radiação pelo solo e a estrutura dos edifícios. Quanto maior o teor de água da folha mais elevada é a absorção da radiação visível.
- **Variáveis térmicas.** A capacidade térmica e a transmitância térmica são parâmetros térmicos principais que definem o desempenho de materiais opacos das construções. Esses fatores em conjunto com a vegetação favorecem, ou não o desempenho da envoltória vegetada.
- **Variáveis hidrológicas.** As perdas de calor latente com a evaporação estão associadas ao vapor de água a partir das plantas e do solo em um telhado verde e é igual à energia térmica obtida pela transição de fase das moléculas de água (a partir do líquido para a fase de vapor). No solo, o



calor latente é transferido por difusão de vapor em poros. A transferência de calor depende principalmente do teor de água e da temperatura. A evapotranspiração na superfície de plantas envolve três processos específicos, (a) a evaporação de água no interior das folhas, em seguida, (b), a difusão de vapor para a superfície das folhas e (c) o transporte do vapor a partir da superfície das folhas para o ar.

### 3. MÉTODOS

A proposta é concebida a partir da adaptação do método desenvolvido pelo *Biomimicry group* 3.8 (2011). A intenção é abordar processos de design em sustentabilidade que intencionam obter uma solução robusta, e passível de evolução. Não é a intenção obter uma resposta definitiva, mas sim, de identificar hipóteses e estratégias possíveis, que amplie a discussão sobre mitigação de calor através de processos passivos. O desenvolvimento da proposta está baseado nas seguintes etapas:

1. **Contextualização (identificação de soluções da natureza) com dois momentos distintos:** Revisão bibliográfica e levantamento do estado da arte em pesquisas sobre mitigação do calor. Estabelecimento de princípios e critérios conforme método desenvolvido pelo *Biomimicry group* 3.8 (2011).
2. **Experimentação (emulação de soluções da natureza para mitigação da influência do calor):** Expressa as diretrizes de projeto desenvolvidas na etapa de contextualização sob a forma de modelagem e visualização computacional combinando estratégias selecionadas na etapa anterior. Utiliza técnica de brainstorm para selecionar estratégias biomiméticas e identificar abordagens de emulação para o estudo de caso.
3. **Configuração (definição de processo de parametrização):** Explora abordagens e definição de um modelo paramétrico que colabore com a associação entre modelo, simulação de desempenho e solução. Foi dividido em dois momentos: primeiro, definição do modelo paramétrico. Utiliza linguagem de programação visual usando Grasshopper para estabelecer um modelo responsivo ao clima. Incorpora simulação de incidência de radiação e características climáticas de Recife (RORIZ, 2012) a um ambiente paramétrico. O simulador utilizado foi o DIVA para grasshopper. Segundo, modelagem propriamente dita. Utiliza princípios formais biomiméticos para estabelecer o modelo que origina o protótipo do estudo de caso.
4. **Prototipagem:** É dividida em dois momentos: primeiro, materialização. Utiliza técnica de prototipagem rápida utilizando método aditivo através de uma impressora 3D. Segundo, materialização nos materiais propostos pelo estudo biomimético. Intenciona reproduzir e avaliar os modelos nos materiais selecionados. Este último utiliza técnica de formação.

5. **Avaliação:** Será realizada técnica de comparação, através de medições controladas em laboratório. O sistema de medição é composto por um microcomputador equipado com Datalogger, que é um equipamento destinado a gravar dados durante um tempo programado, podendo eliminar a presença de um operador na sala de monitoramento. A sala de monitoramento é composta por duas câmaras: a primeira para coleta de dados e a segunda para o teste propriamente dito. Esta segunda câmara é dotada de uma fonte de radiação, compostas por lâmpadas incandescentes e um termômetro de globo, para medição da temperatura radiante. As duas são separadas por uma parede, que possui uma abertura de 1,00 por 1,20 m.

Para avaliação foi realizada uma parede de 1,00 por 1,20 m de poliestireno expandido (isopor) com três aberturas com dimensões de 0,22 x 0,22 m. As quais serão encaixadas os corpos de provas. O composto proposto neste trabalho será comparado a dois materiais refletantes. São eles: o gesso e o cimento branco. O comportamento dos materiais será avaliado através de 06 sensores termopares calibrados (02 em cada corpo de prova). Um colocando na face exposta a radiação e outro colocado na face oposta. Os dados de análise serão coletados a cada segundo e guardados no computador. Para melhorar a visualização dos resultados, será utilizada uma câmera de infravermelho.

## 4. RESULTADOS

Esta etapa visa identificar funções para artefatos arquitetônicos que emulem o efeito das árvores no microclima urbano. As funções foram identificadas com base na leitura feita do contexto de Recife e dos problemas causados pela escolha de materiais nas construções. A Tabela 3 apresenta funções recomendadas para artefatos que visem mitigação do calor para o clima de Recife:

### 4.1 Estratégias e proposta de emulação dos modelos naturais

Os princípios da vida foram utilizados como ponto de partida para estabelecer abordagens de projeto. Cada princípio gerou estratégias para o estudo de caso. As estratégias selecionadas têm relação com o gerenciamento das informações da pesquisa e também servem para aprofundar as discussões quanto à função do artefato.

A finalidade desta etapa é emular os modelos naturais e encontrar soluções que obedeçam às funções estabelecidas para o artefato encontrados no item 5 deste trabalho. A intenção é extrair soluções relevantes ao problema de pesquisa. Ou seja, as estratégias estabelecidas no capítulo anterior são utilizadas nesta etapa para colaborar com soluções e premissas de desenvolvimento do estudo de caso. A Figura 2 mostra a taxonomia das soluções elencadas para este experimento. Apresentando o motivo para escolha de cada uma. Por vezes, as próprias estratégias se inter-relacionam, isso reforça determinadas abordagens que o experimento deve considerar prioritariamente. Através do elenco de princípios estabeleceram-se onze estratégias projetuais para o estudo de caso do artefato gerador de microclima.

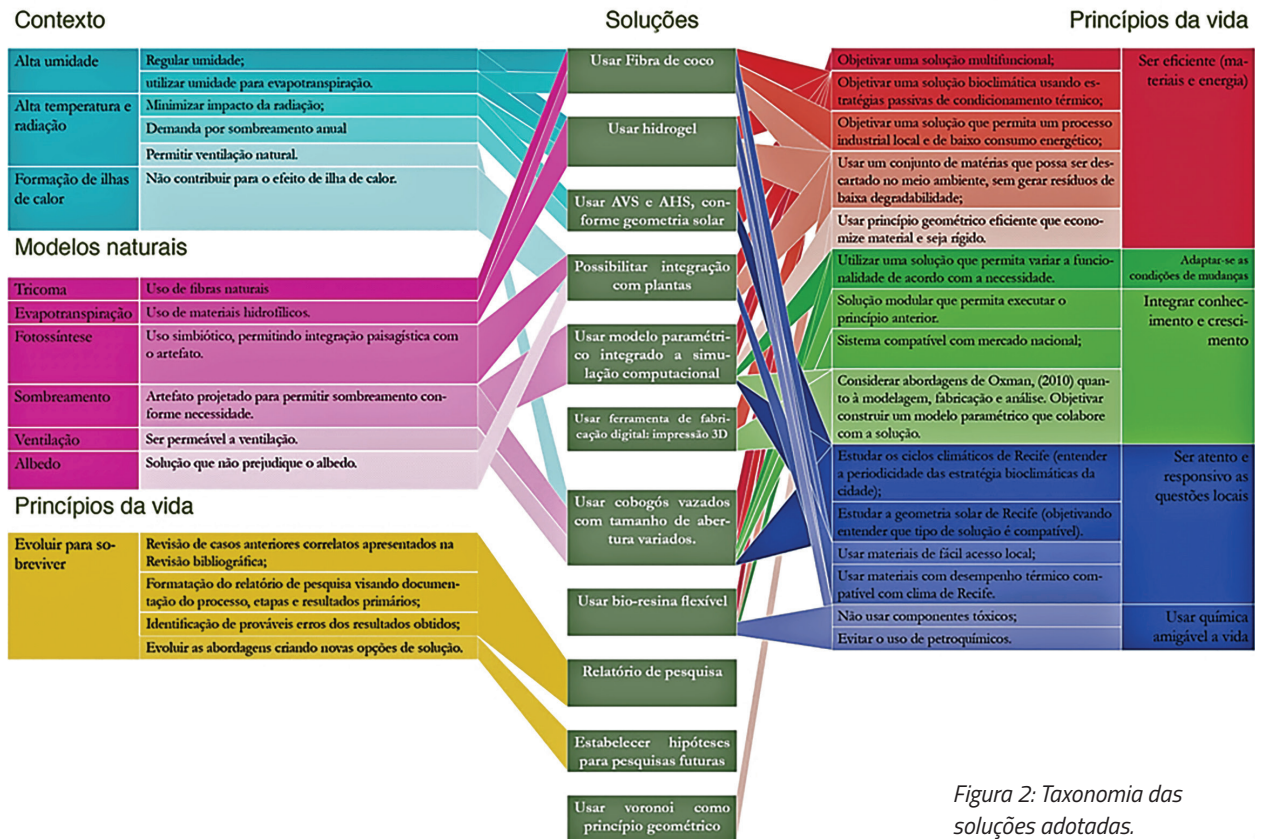


Figura 2: Taxonomia das soluções adotadas.

São eles:

6. Uso de fibra de coco.
7. Uso de hidrogéis.
8. Uso de um sombreamento que estabeleça um ângulo vertical e horizontal de sombreamento, conforme geometria solar de Recife.
9. Possibilidade de integrar o artefato com plantas.
10. Estabelecer um modelo paramétrico integrado à simulação computacional.
11. Usar ferramentas de e processos prototipagem rápida.
12. Usar sistema de elementos vazados com aberturas variadas, compatível com a geometria solar local.
13. Usar resinas naturais e flexível.
14. Usar voronoi como princípio geométrico.
15. Relatar os experimentos em relatório.
16. Propor hipóteses para pesquisas futuras.

#### 4.2 Construção do modelo paramétrico

Para construção do modelo paramétrico foi utilizado o *grasshopper*, plugin gratuito para o Rhinoceros 3D. O modelo no *Grasshopper* foi construído de maneira que haja três *inputs*: primeiro, a modelagem simplificada do entorno imediato. Segundo, o partido arquitetônico estudado para o projeto. E terceiro, os modelos dos elementos de sombra. Ambos podem ser editados no software 3D, ou modelados no *Grasshopper* parametricamente.

O modelo inclui o arquivo climático, simulação de incidência de radiação solar (utilizando o DIVA) e a distribuição dos elementos de sombra. É possível modificar parâmetros dimensionais e avaliar facilmente variações. Esses parâmetros dimensionais dizem respeito à distribuição dos elementos de sombra, quantidade de elementos, escalas de representação etc. (Figura 3). Uma vez estabelecidos novos parâmetros, o modelo atualiza automaticamente mostrando um novo cenário. O modelo permite trabalhar com cenários variados e permite aplicação em partidos arquitetônicos não ortogonais e até orgânicos. O *script* gerado pode ser visualizado na Figura 4.

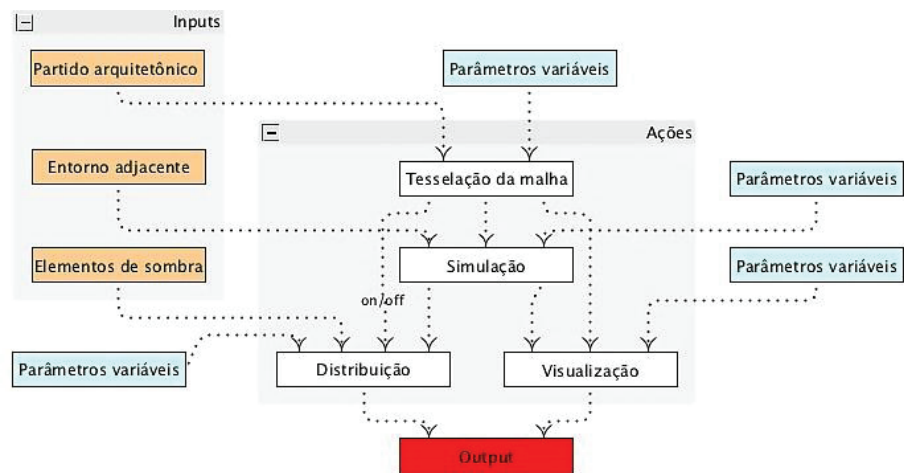
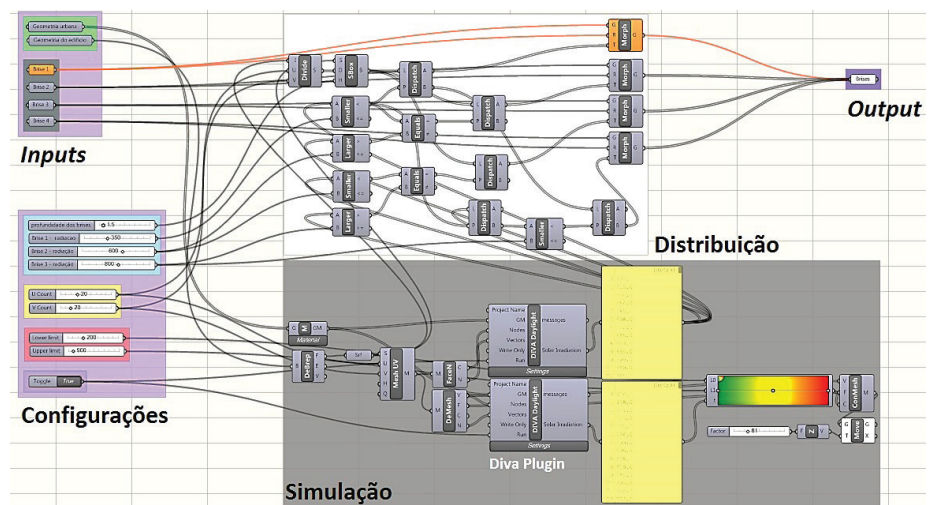


Figura 3: Funcionamento do modelo paramétrico gerado.



Fonte: Imagem script gráfico básico gerado no Grasshopper.

### 4.3 Modelagem do elemento modular

O princípio geométrico utilizado como base do modelo é o voronoi. O voronoi é um diagrama produzido a partir de uma nuvem de pontos. São traçadas regiões para cada ponto, cujo as bordas são equidistantes entre um ponto e outro. Os pontos são os centros de massa de cada região. A razão para escolha, é a de que diagramas de voronoi produzem formas rígidas e eficientes, por isso são encontradas em profusão no meio natural (Du *et al.*, 1999; Oxman, 2010). Cada módulo possui em média três padrões de abertura e ângulos de sombreamento. Um mais aberto, outro mediando e o terceiro mais fechado. Essa combinação permite utilizar os elementos vazados em cenários de sombreamento distintos. (Figura 4)

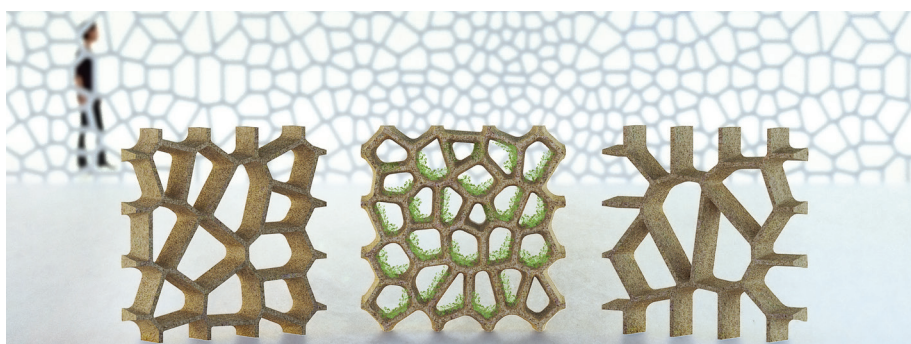
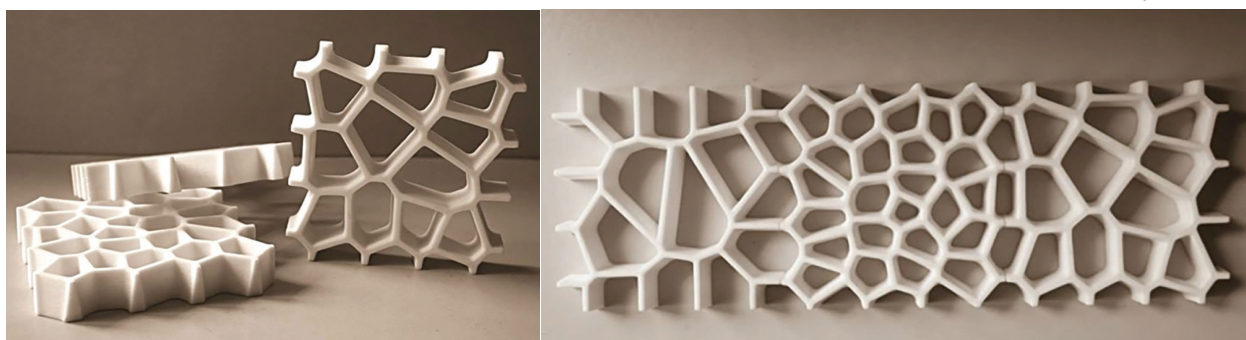


Figura 4: Conceito final do projeto.

### 4.4 Prototipagem rápida

A impressora 3D utilizada é da marca Z-corporation modelo Zprinter 310 plus. Ela utiliza pó e aglomerante e é baseada em uma patente do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts). A impressora é propriedade do Laboratório de Maquetes (LabMaq) da UFRN, que cedeu o uso para a pesquisa. O Software da ZPrint converte um arquivo com um modelo 3D em outro com secções transversais ou fatias que estão entre 0,0762 e 0,2286 mm de espessura (dependendo da resolução escolhida para impressão). A impressora imprime estas secções, uma após a outra, a partir da parte inferior do modelo até o topo. O modelo 3D foi convertido para o formato STL, padrão para uso em ferramentas de fabricação digital, e então enviado ao software da impressora que o converteu em fatias de impressão. Foram impressos objetos em escala de 1:5 (12x12 cm) e 1:4 (20x20cm) (Figuras 5 e 6).

Figuras 5 e 6: Elemento modulares recém impressos.



#### 4.5 Formação

A formação utilizou os modelos impressos como base para fabricação de fôrmas. As fôrmas foram realizadas em silicone industrial. Uma vez produzidas as fôrmas, iniciou-se a etapa de prototipagem visando a reprodução dos elementos nos materiais propostos. O ideal para reprodução era o uso de fôrmas metálicas e uso de prensas industriais para produzir os elementos. Porém para etapa de prototipagem a compressão foi realizada manualmente usando os elementos impressos para comprimir a massa dentro das fôrmas.

Foi utilizado fibra de coco seca e processada para extrair apenas a celulose. Este material já é utilizado abundantemente na indústria paisagística e agrária. A razão para o uso de fibra de coco nessas indústrias é sua conhecida propriedade higroscópica. A fibra absorve umidade do meio ambiente e pode ser utilizada para melhorar as propriedades do solo. Também são resistentes o suficiente para produção de placas, as quais, são utilizadas para fazer vasos, substituir o xaxim e elaborar jardins verticais.

O aglomerante utilizado é uma resina bi-componente a base de óleo vegetal de mamona. As resinas são resistentes a altas e baixas temperaturas. Sendo aplicadas atualmente na indústria de telecomunicações, alimentícia (para fabricação de plásticos sem componentes tóxicos), automobilística e náutica.

O hidrogel utilizado é o poliácrlato de sódio (Figura 7). É um sal sódico do ácido poliacrílico. Este composto tem a capacidade de absorver água em uma proporção entre 200 a 300 vezes o valor de sua massa. Segundo Sandonato (2011), esses polímeros superabsorventes possuem um período de meia vida de 5 a 7 anos na natureza e possuem propriedades de biodegradação. Este material também é utilizado na indústria agrária para melhorar as características de solos e reduzir o efeito de períodos de seca.

A mistura da resina e da fibra de coco se deu de maneira a preservar as propriedades da fibra. Entre camadas de fibra com a resina foi adicionado o hidrogel, que não estava hidratado. O resultado foi elementos resistentes e leves que podem ser deformados possibilitando uso em superfícies com curvaturas (Figuras 8 e 9).



Figura 7: Poliacrilato de sódio hidratado.

Fonte: autor.



Figuras 8 e 9: A esquerda, elemento (escala 1:5) ao ser retirado da fôrma. A direita, as propriedades da resina permitem curvatura do elemento.

Fonte: autor.

#### 4.6 Análise dos materiais

O levantamento durou cerca de 140 minutos, os sensores obtiveram neste período dados de temperatura superficial por segundo. Foram produzidos três corpos de prova nas dimensões de 22 x 22 cm. O primeiro de gesso comum, o segundo o composto gerador de microclima proposto pela pesquisa e o terceiro um cimento branco (Figura 10). Ambos os materiais frutos da comparação são brancos e possuem uma alta refletância. São materiais com propriedades, em geral, recomendadas em pesquisas sobre efeito de ilha de calor, pois possuem superfície lisa e de cor clara.

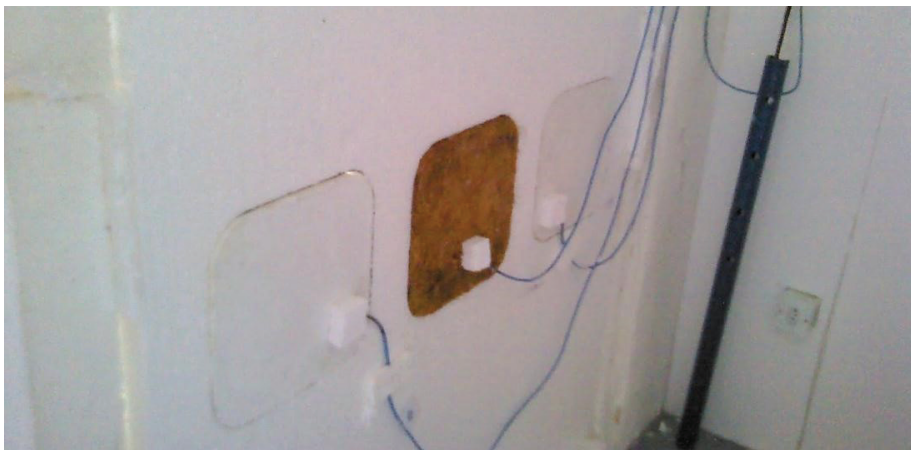


Figura 10: Ensaio térmico. Acima é mostrado as superfícies em contato com a fonte de radiação. Abaixo, as superfícies opostas.

O resultado mostra que até os primeiros 20 minutos o efeito evaporativo parecia ainda não influenciar o desempenho do bloco testado. Em detrimento disso os blocos refletantes tinham desempenho semelhante e melhores. Depois desse período, o bloco com o composto proposto passou a funcionar melhor. A temperatura superficial em contato com a fonte de calor teve comportamento irregular, porém mais baixa que os refletantes, aqueceu menos e preservou as propriedades no período de teste. Pode-se observar também, que a transmissão de calor, foi substancialmente menor.

O resultado pode ser visualizado no gráfico 01. A linha vermelha é a temperatura radiante dentro da sala aquecida. As linhas marrons são referentes aos sensores da fibra de coco com o hidrogel (um está do lado aquecido e o outro do lado não aquecido) (Figuras 11,12,13 e 14).

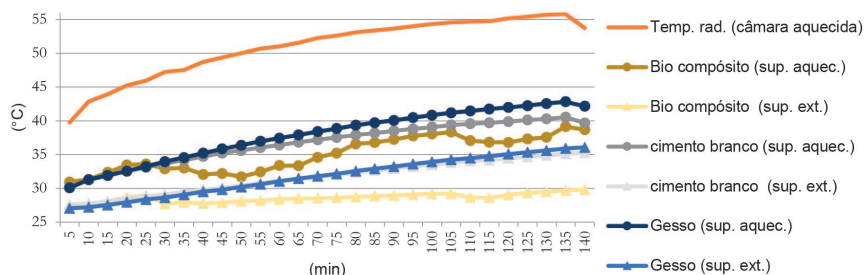
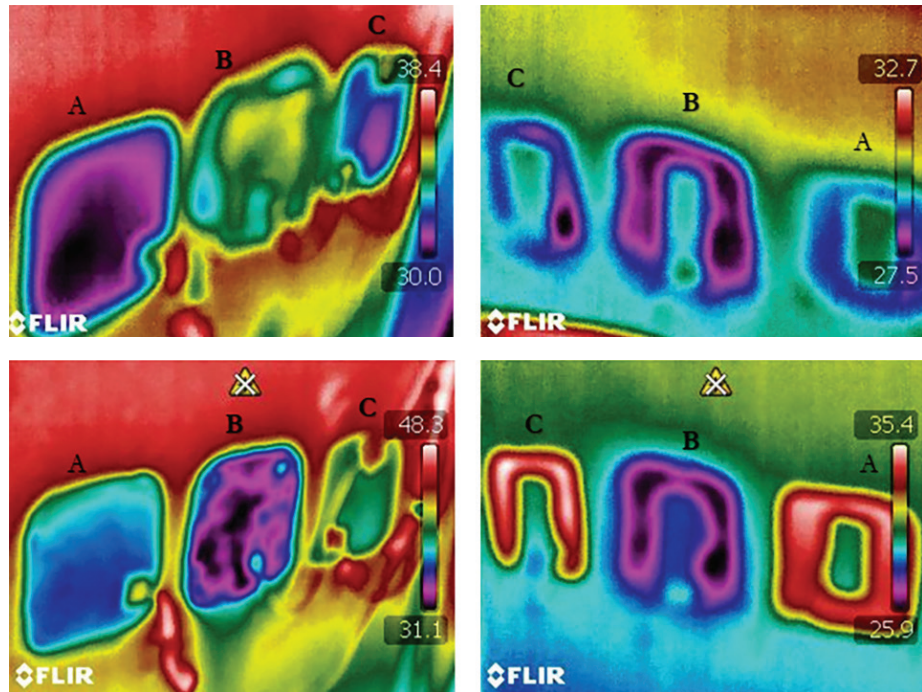


Gráfico 1: dados de temperaturas levantados no ensaio.

Figuras 11, 12, 13 e 14: Imagens de infravermelho do ensaio. De cima para baixo: As duas primeiras fotos foram tiradas durante os primeiros 10 minutos de experimento. A figura da esquerda mostra as superfícies em contato com a radiação. A figura da direita mostra o lado oposto. As figuras abaixo mostram o ensaio após duas horas de experimento.



O teste realizado indica potenciais positivos do uso da evaporação como forma de reduzir a influência do calor. Porém, são necessários testes subsequentes para quantificar precisamente as propriedades térmicas. Também é importante regular a quantidade de hidrogel necessária considerando características como: o regime de chuva e o efeito ideal buscado. Vale salientar que as propriedades térmicas podem ser melhoradas considerando a possibilidade de uso híbrido do material com plantas (semelhante a um xaxim).

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou investigar o potencial da integração entre parametrização da forma, prototipagem rápida e preceitos biomiméticos, em resposta a questões bioclimáticas. O trabalho investiga esta integração através do estudo de caso de um artefato gerador de microclima para o clima quente e úmido, utilizando a cidade de Recife como referência. De maneira geral, a pesquisa cumpriu o objetivo geral e apresentou um processo que aplicou uma metodologia que visa processos bioinspirados. O estudo de caso evoluiu até a etapa de prototipagem, que possibilitou realizar um teste de desempenho térmico usando método comparativo para avaliar potenciais dos princípios estabelecidos.

A revisão bibliográfica contribuiu com a compreensão da decomposição do tema da dissertação e clareza das temáticas abordadas. A partir da revisão bibliográfica é possível identificar o link que pode ser estabelecido entre abordagens como a biomimética, bioclimatologia, parametrização da forma e prototipagem rápida aplicados ao design de edifícios. A bioclimatologia se integra, e é complementar aos preceitos da biomimética. Os processos



algorítmicos e de parametrização são um meio que possibilita computar ligações e simulações que podem dar aporte a geração de geometria inspirada pelo desempenho, também premissa da biomimética. A prototipagem rápida e as ferramentas de fabricação digital possibilitam materializar geometrias complexas frutos das explorações anteriores.

A metodologia proposta pelo biomimicry group 3.8 colaborou significativamente no processo da pesquisa. A partir da tentativa por cumprir os ideais, princípios e etapas propostas pela metodologia foi possível estabelecer um processo de construção da solução com base em evidências e não apenas em repetição de soluções anteriores. A metodologia colabora com considerações quanto a sustentabilidade da proposta e também introduz uma compreensão do funcionamento do ecossistema e contribui com o estudo de sua emulação para processos humanos.

As pesquisas sobre materiais para mitigação do efeito de ilha, em geral, abordam as propriedades óticas dos materiais, como a absorvância e emissividade. A abordagem deste trabalho considera estratégias que utilizam propriedade hidrológicas, que obtiveram resultados preliminares positivos na comparação com dois materiais brancos. Esta abordagem está em concordância com trabalhos apresentados por Yeang (2006) e (Yang *et al.*, 2015), ambos recomendam como opção estratégica o uso de mudança de fase de materiais (no caso aqui, a água) e uso de superfícies permeáveis em conjunto com as abordagens óticas dos materiais.

Em termos de processo, o estudo de caso apresenta possibilidades de integração com simulação em etapas preliminares do design. Em geral, processos tradicionais de projeto incorporam considerações numéricas apenas em estágios mais avançados. Ferramentas paramétricas e algorítmicas podem ser um meio utilizado para diminuir a distância entre simulação de desempenho e estabelecimento de geometria/solução. A linguagem de programação visual, por sua vez, facilita uso de abordagens algorítmicas por profissionais de projeto (designers e arquitetos) que não necessariamente conhecem programação através de linguagem de texto.

A incorporação de ciclos avaliativos ao processo de projeto, associado ao design responsivo, permite maior liberdade para ajustes e elaboração de combinações variadas como resposta a um mesmo problema. Esta combinação acaba por expandir o controle do usuário frente aos limites impostos pelas ferramentas de modelagem e simulação tradicionais. Colaborando com a compreensão do projetista, e computando padrões que podem ser utilizados para estabelecer soluções.

A prototipação ocorreu em duas etapas: a prototipagem rápida e a formação. A primeira possibilitou materializar os elementos modulares idealizados. A impressão 3D, que utilizam técnicas aditivas podem ser utilizadas a fim de evitar produção de resíduos nestas etapas. Além disso, dificilmente a execução dos elementos modulares seria possível por meio artesanal em pouco tempo. Já usando prototipagem rápida, em cerca de 14 horas de trabalho foi possível imprimir 6 elementos. Três com a escala de 1:5 e 3 com escala de 1:4. A etapa

de formação, por sua vez, possibilitou executar os protótipos nos materiais idealizados, já que as máquinas CNC e processos de adição (impressoras 3D) não permitem muitas opções na escolha de materiais. Ou seja, apenas por via de formação foi possível a execução do protótipos, conforme idealizado.

Os testes térmicos preliminares realizados obtiveram resultados promissores. O uso de hidrogéis foi importante para obtenção dos resultados positivos. Através do uso do hidrogel, o corpo de prova conseguiu aumentar sua absorção de água, e durante o tempo de teste preservou as propriedades. O hidrogel foi considerado uma boa estratégia para utilizar a evaporação da água como meio de se obter resfriamento, pois ele permite a absorção e reserva da água sem deixar o artefato molhado ao toque.

## REFERÊNCIAS

- BENYUS, J. M. *Biomimicry: innovation inspired by nature*. 1st. New York: Morrow, 1997. 308 p. ISBN 0688136915 (alk. paper).
- BIOMIMICRY3.8. *Biomimicry Thinking*. 2011a. Disponível em: <<http://biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/biomimicry-thinking/>>. Acesso em: 03/03/2014.
- DU, Q.; FABER, V.; GUNZBURGER, M. Centroidal Voronoi tessellations: applications and algorithms. *SIAM review*, v. 41, n. 4, p. 637-676, 1999. ISSN 0036-1445.
- GAGO, E. J. et al. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 25, n. 0, p. 749-758, 9/2013. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003602>>.
- GRUBER, P. *BIOMIMETICS IN ARCHITECTURE-ARCHITECTURE OF LIFE AND BUILDINGS*. Wien: New York: Springer-Verlag 2011.
- OLGYAY, V.; OLGAY, A. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay*. Princeton, N.J. Princeton University Press, 1963. v, 190 p.
- OXMAN, N. *Material-based design computation*. 2010. Massachusetts Institute of Technology
- PAWLYN, M. *Biomimicry and the Sahara Forest Project*. 2011. Disponível em: <<http://saharaforestproject.com/concept/biomimicry.html>>. Acesso em: 01/02/2014.
- ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. *Ecohouse: a design guide*. Oxford; Boston: Architectural Press, 2001. iv, 346 p. ISBN 0750649046 (pbk.).
- RORIZ, M. *Arquivos climáticos em formato EPW. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações 2012*.
- SANDONATO, B. B. *Método de avaliação e biodegradação do poliacrilato de sódio*. 2011.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, v. 103, n. 0, p. 682-703, 5/2014. ISSN 0038-092X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12002447>>.
- YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 47, n. 0, p. 830-843, 7/2015. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115002452>>.