

Além dos princípios sustentáveis: arquitetura biomimética e a natureza como fonte de inspiração

Juliana Miranda Gondim – juh.gondim@gmail.com
 Master em Arquitetura e Lighting
 Instituto de Pós-Graduação - IPOG
 Recife, PE, 14/09/2020

Resumo

A busca pelo desenvolvimento de uma arquitetura sustentável é uma problemática recorrente desde antes da virada do século XXI. O biomimetismo busca ir além dos conceitos de sustentabilidade e usar a natureza como inspiração para a criação de materiais e tecnologias capazes de até funcionar como um ser vivo, mas como esse conceito se traduziria na arquitetura? Através de uma revisão bibliográfica da literatura sobre esse conceito e da análise de edificações que utilizam seus parâmetros, buscou-se entender seus preceitos, como funciona, suas aplicações, seu potencial e o que o diferencia da arquitetura sustentável. Por meio de artigos e publicações em sites de referência de arquitetura, pôde-se entender que existem duas formas de se trabalhar o biomimetismo: do design-para-biologia e da biologia-para-design. Além disso, ele pode se traduzir na arquitetura em três níveis, sendo eles os níveis do organismo, do comportamento e do ecossistema. Conclui-se que o biomimetismo é uma abordagem multidisciplinar, onde há a necessidade de integração entre engenheiros, arquitetos, biólogos e ecologistas, que deve ser favorecida desde os primeiros anos da faculdade, pois seu potencial para se tornar uma tendência global e de mudar paradigmas da indústria de materiais e construção é imenso.

Palavras-chave: Arquitetura. Biomimetismo. Inovação. Natureza. Sustentabilidade.

1. Introdução

A natureza é uma fonte inesgotável de inspiração. Sua incrível diversidade, fauna e flora, e seus diferentes ecossistemas adaptados às mais variadas condições climáticas, muitas vezes adversas para os seres humanos, foram resultado de mais de 2 bilhões de anos de evolução que chegaram, por fim, há um perfeito equilíbrio e harmonia entre os seres vivos e o ambiente em que vivem. Esse equilíbrio, entretanto, passou a ser ameaçado pela industrialização em massa, crescimento desenfreado das cidades e exploração de recursos naturais não-renováveis.

Foi somente na segunda metade do séc. XX, com uma maior conscientização sobre as mudanças climáticas resultantes da ação humana na Terra, que se começou a explorar o uso de energia alternativa e renovável, a se preocupar com a qualidade da água, do ar e com a gestão de recursos e das sobras. Nesse momento, na arquitetura, passou-se a existir a visão de que o edifício age sobre o ambiente tanto quanto a recíproca. Assim, a partir dos anos 2000, começou-se a se falar cada vez mais de Arquitetura Sustentável a qual relaciona, de forma equilibrada, aspectos econômicos, sociais e ambientais de forma a gerar crescimento através do uso eficiente de recursos (mão-de-obra, materiais, água e energia), evitando efeitos prejudiciais ao meio ambiente ao mesmo tempo em que responde às necessidades dos atores sociais

envolvidos, bem como dos usuários, de forma a atender às necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades. Alguns dos princípios da arquitetura sustentável dizem respeito ao aproveitamento adequado das condições naturais locais; à implantação e análise do entorno; qualidade ambiental interna e externa; redução de resíduos, de consumo de água e de energia; e reciclagem e reutilização de materiais.

Existem diversos parâmetros de concepção arquitetônica que estão diretamente ligados a questões ambientais e que se considerados e abordados de forma sensível à composição do projeto, terão como resultado edificações em conformidade com as premissas da arquitetura sustentável. Esses critérios dizem respeito à implantação, morfologia, espacialidade e materialidade do projeto. Passou-se, então, a buscar inspiração na natureza como uma das formas de criar essa arquitetura sustentável gerando, assim, uma arquitetura fluida, com formas orgânicas e assimilando seus padrões naturais de composição de maneira a se integrar no contexto em que está inserida ou de trazer aspectos da natureza para dentro do projeto. Segundo Agkathidis (2016:1), essa noção de organicidade promove harmonia entre arquitetura e natureza ao ponto onde a forma e o ambiente se fundem em um só. Frank Lloyd Wright também afirmava que a arquitetura orgânica não dizia respeito somente à semelhança com suas formas naturais, mas se relacionava com a materialidade e integração com o contexto natural.

O que seria então o novo conceito de Arquitetura Biomimética e no que ele se diferencia dos demais princípios de sustentabilidade? Morfológicamente, Biomimetismo é formado pela junção das palavras gregas *bios* (vida) e *mimesis* (imitar), que significaria então a imitação da vida. Entretanto, seu conceito vai muito além de uma mera emulação de formas naturais para criar projetos mais sustentáveis. “A ideia principal é que a natureza já resolveu muitos dos problemas que nós estamos lutando para resolver: energia, produção de alimentos, controle climático, produtos químicos benignos, transporte, colaboração e mais” (BENYUS, 2016:2. Tradução da autora). Einstein já dizia “Olhe fundo na natureza e então você entenderá tudo melhor”. Dessa forma, o Biomimetismo é uma filosofia contemporânea de arquitetura que busca olhar para a natureza e confiar nas soluções encontradas por ela, uma vez que ela já passou por um longo período de testes, durante todo o desenvolvimento da vida na Terra, e já “descartou” milhões de protótipos falhos. É sobre ir além de uma busca morfológica, é sobre aprender com seus processos, ecossistemas e elementos, podendo chegar até ao nível celular do funcionamento dos organismos como bactérias, fungos ou plantas e animais para criar soluções que não sejam somente sustentáveis e com formas orgânicas, mas que se insiram no ecossistema e que de certa forma também façam parte dele.

Agkathidis (2016:2) afirma que, nos últimos anos, ao incorporar ferramentas e tecnologias emergentes como parametrização, algoritmos e métodos de design generativo, arquitetos e engenheiros puderam ir além da mera representação das formas e proporções observadas na natureza e aprimorar ainda mais os aspectos ambientais, estruturais e materiais do edifício, ao aprender com mecanismos e propriedades encontrados no meio ambiente através de informações obtidas a partir seres vivos e ecossistemas, cuja pressão por sobrevivência levou os organismos a se desenvolverem em inacreditáveis nichos ecológicos específicos e a criarem incríveis adaptações para ambientes com limitados recursos. Dessa forma, “Ao invés de pensar o edifício como uma máquina para viver, o biomimetismo pede para arquitetos pensarem o edifício como algo vivo para um ser vivo” (SHIVA, 2015:7. Tradução da autora).

As obras e projetos recentes que se baseiam nos conceitos do biomimetismo, apesar de inicialmente aparecerem uma mera emulação formal da natureza ao utilizarem como inspirações, por exemplo, as carapaças de insetos, microrganismos celulares ou estruturas orgânicas, elas, na verdade, vão além dos aspectos morfológicos ao melhorar a eficiência do edifício, seja energeticamente, funcionalmente ou estruturalmente. Muitos, inclusive, com design paramétrico, funcionam de forma reativa ao meio ambiente, ajustando, por exemplo, seus componentes segundo a orientação solar, condições climáticas ou o programa interno, como, por exemplo, o Teatro Esplanada em Cingapura, projetado pelo DP Architects e Michael Wilford, inaugurado em 2002, que possui em sua fachada uma pele inspirada na fruta da árvore Durião (Figura 1), a qual possui espinhos para proteger suas sementes, e que no teatro, se traduz de forma que a fachada cria um sistema de sombreamento o qual responde às mudanças de iluminação externa ao longo do dia, de acordo com posições e ângulos da incidência solar, para proteger os visitantes no seu espaço interno.



Figura 1 – Fachada do Teatro Espalhada e Fruta da árvore Durião
Fonte: ParametricHouse (2019)

2. Desenvolvimento

Através de uma revisão bibliográfica do assunto, realizada nos últimos 5 meses, observa-se que a literatura sobre biomimetismo em português é quase inexistente. Muito tem se falado sobre sustentabilidade e sobre Design Biofílico e a importância de trazer a natureza para perto dos usuários para melhorar questões de conforto físico e psicológico, entretanto, quando se fala de arquitetura biomimética o que se encontra é apenas um breve resumo do seu conceito e alguns exemplos de edifícios que utilizam seus parâmetros.

Alguns países têm se destacado na pesquisa e desenvolvimento do biomimetismo como o Reino Unido, Alemanha, Holanda, Japão e Estados Unidos. De acordo com Shimomura (2010:65-66), observa-se, nesses países, dois fatores importantes para o desenvolvimento da pesquisa sobre o assunto: o primeiro diz respeito à percepção da importância ao favorecimento da interação, troca de conhecimentos e colaboração entre diferentes áreas com um time formado por biólogos, engenheiros e arquitetos; e o segundo corresponde a realização de análises e buscas por aplicações sobre a multifuncionalidade e adaptabilidade das superfícies biológicas (carapaças, peles, escamas, membranas etc) e seres vivos que podem apresentar características como

repelência à água, auto-limpeza, anti-reflexo, entre outras mais, e que têm grande potencial para serem utilizados nos princípios de design de novos materiais.

O Biomimicry 3.8, site criado para ajudar as pessoas a conhecerem e utilizarem os conceitos do biomimetismo, afirma existirem duas categorias de abordagem para alcançá-lo: do design-para-biologia e da biologia-para-design. Esses processos de projeto diferem entre si sobre de onde se inicia o estudo, uma vez que no primeiro se parte de um problema de projeto ou necessidade humana que precisa de uma solução a ser encontrada e a natureza serve como fonte de pesquisa e, no segundo, quando se descobre uma característica, comportamento ou funcionalidade na natureza que pode ser adaptada e traduzida para um problema de projeto conhecido.

Além disso, segundo Benyus (2016:5-6), existem três níveis de biomimetismo. O primeiro nível diz respeito a emulação de formas naturais, que pode ou não criar um design sustentável. O segundo adiciona mais um nível ao emular os processos naturais ou como algo é produzido por um organismo, enquanto o terceiro nível vai além ao buscar reproduzir um ecossistema e os princípios que permitem seu bom funcionamento. “Se conseguirmos biomimetizar todos os três níveis - forma natural, processo natural e sistema natural - começaremos a fazer o que todos os organismos bem adaptados aprenderam a fazer, que é criar condições propícias à vida.” (BENYUS, 2016:6. Tradução da autora). Shiva (2015:11) também caracteriza esses três níveis, mas como sendo respectivamente o nível do organismo, o nível do comportamento e o nível do ecossistema e exemplifica como seria aplicado o biomimetismo na arquitetura em cada um deles quanto à forma, material, construção, processos e função (ver Tabela 1).

“Um design pode ser biomimético por exemplo em termos de como ele aparenta (forma), do que ele é feito (material), como é feito (construção), como funciona (processos) ou sobre o que ele é capaz de fazer (função). [...] É esperado que algumas sobreposições entre diferentes tipos de biomimetismo existam e que cada tipo de biomimetismo não é mutuamente exclusivo (SHIVA, 2015:11. Tradução da autora).

A Tabela 1 tenta esclarecer um pouco as diferentes formas de se trabalhar o biomimetismo através do estudo de um organismo ou ecossistema e como existem diferentes abordagens que podem ser utilizadas a partir de um mesmo contexto.

Nível de Biomimetismo		Exemplo: um prédio que emula cupins	
Nível do Organismo (Emulação de um organismo específico)	forma	O prédio se parece um cupim	
	material	O prédio é feito do mesmo material que um cupim; um material que simula o exoesqueleto/pele de um cupim por exemplo	
	construção	O prédio é construído da mesma forma que um cupim; passa por vários ciclos de crescimento por exemplo	
	processo	O prédio trabalha da mesma forma como indivíduo que um cupim; produz hidrogênio de forma eficiente através de metagenomas por exemplo	
	função	O prédio funciona como um cupim em um contexto mais	

		amplo; recicla resíduos de celulose e cria solo por exemplo
Nível do Comportamento (Emulação de como um organismo se comporta ou se relaciona com um contexto maior)	forma	O prédio parece que foi feito por um cupim; a réplica de um monte de cupins por exemplo
	material	O prédio é feito dos mesmos materiais que cupins usam para construir: usando solo fino digerido como material principal por exemplo
	construção	O prédio é construído da mesma forma que um cupim construiria; empilhando terra em certos lugares em certos momentos por exemplo
	processo	O prédio funciona da mesma forma que um monte de cupins funcionaria; com cuidadosa orientação, forma, materiais selecionados e ventilação natural por exemplo, ou simula como os cupins trabalham juntos
	função	O prédio funciona como se tivesse sido feito por cupins: as condições internas são reguladas para serem ideais e termicamente estáveis por exemplo. Pode também funcionar da mesma forma que um monte de cupins funciona em um contexto mais amplo
Nível do Ecossistema (Emulação de um ecossistema)	forma	O prédio se parece com um ecossistema (um cupim viveria nele)
	material	O prédio é feito dos mesmos materiais que todo o ecossistema (dos cupins) é feito; usa compostos comuns que ocorrem naturalmente e água como meio químico primário por exemplo
	construção	O prédio é montado da mesma forma que um ecossistema de cupins; princípios de sucessão e aumento de complexidade ao longo do tempo são usados por exemplo
	processo	O prédio funciona da mesma forma que o ecossistema de cupins; captura e converte energia solar e armazena água por exemplo
	função	O prédio é capaz de funcionar da mesma forma que funcionaria o ecossistema de cupins e faz parte de um sistema complexo ao utilizar das relações entre os processos; é capaz de participar dos ciclos do hidrogênio, carbono e nitrogênio etc de forma similar a um ecossistema por exemplo

Tabela 1 – Suporte para aplicação do Biomimetismo.
Fonte: SHIVA, 2015:12 (Adaptado de Pedersen Zari, 2007) e Traduzido pela autora

Essa divisão entre os diferentes níveis tenta demonstrar o potencial da arquitetura biomimética como metodologia e ferramenta para melhorar a sustentabilidade e a capacidade do meio construído de se incluir no ecossistema em que está inserido. A partir da análise de um só organismo, pode-se utilizar diversos parâmetros como fonte de inspiração. O potencial do biomimetismo quando se pensa em todos os seres vivos e ecossistemas que existem na natureza é imenso. Trata-se de uma nova forma de pensar no projeto que desafia o processo criativo convencional tanto da arquitetura quanto da indústria de tecnologias e materiais.

Numa perspectiva arquitetônica, o primeiro nível costuma ser bastante confundido com o biomorfismo, muito utilizado por arquitetos quando buscam inspiração formal ou simbólica na natureza. A melhor forma de entender em qual definição uma obra se encaixa é perceber se o design vai além da emulação da forma e parte para um caráter

funcional de sua adaptação, como no caso do Teatro Esplanada citado anteriormente, que seria categorizado quanto a forma e função no nível do organismo, uma vez que a fachada, além de se assemelhar à fruta da árvore durião, é também reativa às condições de iluminação externa, protegendo os usuários como a fruta protege suas sementes, sendo assim, caracterizado dentro dos parâmetros da arquitetura biomimética.

Seguindo utilizando o exemplo dos cupins ilustrado na Tabela 1, um prédio que teve destaque por utilizar os princípios da arquitetura biomimética quanto a processo e função no nível do comportamento é o Eastgate Building (Figura 2) em Harare, no Zimbábue, concebido pelo arquiteto Mick Pearce, em colaboração com os engenheiros da Arup, e com construção finalizada em 1996. Pioneiro ao abordar conceitos de sustentabilidade e de biomimetismo, esse complexo de shopping e escritórios foi projetado visando o conforto térmico de forma a ter um sistema de ventilação e resfriamento completamente naturais inspirados no funcionamento dos montes de cupins. Assim sendo, esse edifício não possui sistema de ar condicionado nem de aquecimento e, mesmo assim, mantém sua temperatura regulada ao longo do ano e economiza uma incrível quantidade de energia.



Figura 2 – Fachada do Eastgate Building em Harare
Fonte: Mick Pearce (2016)

Segundo o site Inhabitat (2012), os cupins, no Zimbábue, constroem montes gigantes que utilizam o princípio de circulação induzida de ar. Eles possuem um complexo e bem sucedido sistema de gerenciamento que se traduz em criar e fechar uma série de aberturas ao longo do dia que ajustam a ventilação. Nesse sistema de correntes de convecção, o ar é aspirado na parte inferior do monte e sobe por canais até o topo onde é conduzido de volta ao meio externo.

Ainda segundo o Inhabitat (2012) e a própria página de projetos de Mick Pearce (2016), no Eastgate Building, essa inspiração nos montes de cupim, se traduz no seu sistema de ventilação que opera de forma parecida (Figura 3). O ar é sugado do espaço externo, por meio de ventiladores localizados no primeiro pavimento, para então ser distribuído ao longo do edifício, guiado por portas de exaustão localizadas no teto de cada andar e, de lá, partir para os dutos verticais que levam às chaminés

no topo da edificação. A circulação das correntes de ar regula também a temperatura interna, mantendo-a constante enquanto a temperatura externa varia de aproximadamente 2°C à noite até 40°C durante o dia. Assim, o edifício, feito em grande parte de concreto, age em propagação térmica com o meio externo, a depender de qual está mais quente ou mais frio, por meio das trocas de ar e calor, de forma que a temperatura interna se mantém sempre regulada.

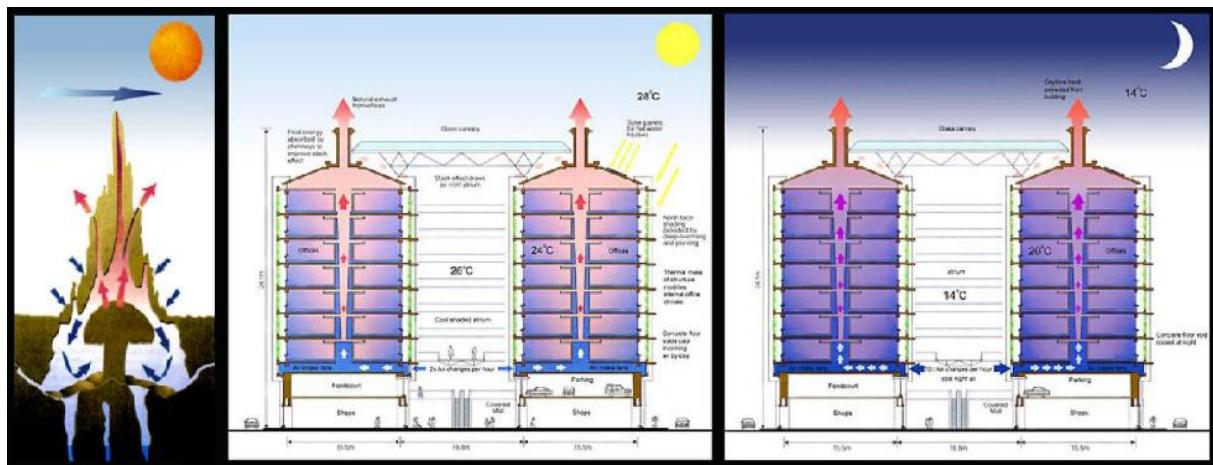


Figura 3 – Corte esquemático de um monte de cupins e do Eastgate Building em Harare
Fonte: Mick Pearce (2016)

Alguns autores, como Turner (2008:3-5), apresentam críticas ao Eastgate Building tanto quanto a necessidade de ventilação mecânica para que o ciclo da ventilação e troca de ar ocorra, uma vez que os montes de cupins fazem isso de forma natural; quanto em relação ao fato de que não há evidências de que os cupins fazem a regulação da temperatura do ninho ao longo do ano ou mesmo que a ventilação interfira nessa temperatura. De toda forma, o prédio se destaca pelo uso do biomimetismo ao usar como referência o sistema de ventilação do monte de cupins, por seu caráter sustentável quanto à economia de energia e pelo seu conforto térmico em um local com grande amplitude térmica como o Zimbábue.

Outro exemplo, mais recente, do uso do biomimetismo no nível do comportamento, dessa vez quanto a material e construção, mas de uma maneira mais experimental e conceitual, foi a do Pavilhão da Seda elaborado pelo MIT Media Lab em 2013 (Figura 4). Segundo Stott (2013) em uma publicação para o ArchDaily, eles buscam integrar estratégias computacionais e formas de fabricação com inspiração biológica. A partir disso, inspirados pela forma delicada como os bichos da seda tecem seus casulos a partir de um único fio contínuo de seda, esse pavilhão foi criado utilizando-se robôs que envolviam estruturas de aço com tecido para servir de base para 6500 bichos da seda vivos tecerem o “casulo” que envolveria o pavilhão. Dessa forma, “o pavilhão se encontra em um meio termo entre uma versão ampliada de um casulo e um espaço funcional para os seres humanos” (STOTT, 2013. Tradução da autora).



Figura 4 – Pavilhão da Seda desenvolvido pelo MIT Media Lab
Fonte: Archdaily (2013)

Os exemplos mais comuns de biomimetismo utilizam-se dos dois primeiros níveis e se inspiram geralmente em somente um único organismo para encontrar soluções na criação de produtos e materiais ou de edifícios, como demonstrado anteriormente. O biomimetismo quanto ao nível do ecossistema, também chamado de ecomimetismo, tem poucos exemplos de sua aplicação, devido a sua complexidade e diversidade de relações entre todos os organismos e o meio em que vivem, mas tem grande potencial para estimular a criação de técnicas e estratégias adaptáveis ao espaço urbano e suas edificações.

“Ecossistemas fornecem aos projetistas exemplos de como a vida pode funcionar efetivamente em um dado local e clima e oferece dicas de como o ambiente construído poderia funcionar mais como um sistema do que como um conjunto de edifícios objetificados e individuais que não se relacionam entre si (ZARI, 2014:1. Tradução da autora).

Ecossistemas são conhecidos pela sua incrível resiliência e capacidade de se adaptar a constantes mudanças, respondendo a perturbações e distúrbios, resistindo aos danos e se recuperando rapidamente. Essas características, se aplicadas ao espaço construído desde sua concepção, têm grande potencial de criar um espaço urbano regenerativo, capaz de funcionar de forma sustentável, em harmonia, integrado e contribuindo com o ambiente em que está inserido.

Zari (2014:2) afirma existirem pelo menos duas formas de mimetizar ecossistemas segundo aos preceitos do biomimetismo: por meio de seus processos e suas funções. O primeiro diz respeito às estratégias utilizadas que permitem o funcionamento do ecossistema (como ele faz?) e o segundo são os resultados desses processos (o que ele faz?). Em sua pesquisa, Zari busca expandir, refinar e organizar os processos de um ecossistema para que sirva de base para os projetistas poderem se aprofundar no ecomimetismo, apesar de ainda existir um longo caminho para que haja uma maior compreensão do seu funcionamento, esse já seria um ponto de partida.

Um exemplo notável que usa o conceito do ciclo dos nutrientes e materiais de um ecossistema é a região industrial de Kalundborg na Dinamarca, onde 11 empresas públicas e privadas funcionam em simbiose (Figura 5). O seu princípio é que os resíduos de uma companhia se tornem recursos para outra, beneficiando tanto o meio

ambiente quanto a economia, de forma que compartilham e reutilizam materiais, gerando economia financeira e minimizando o desperdício

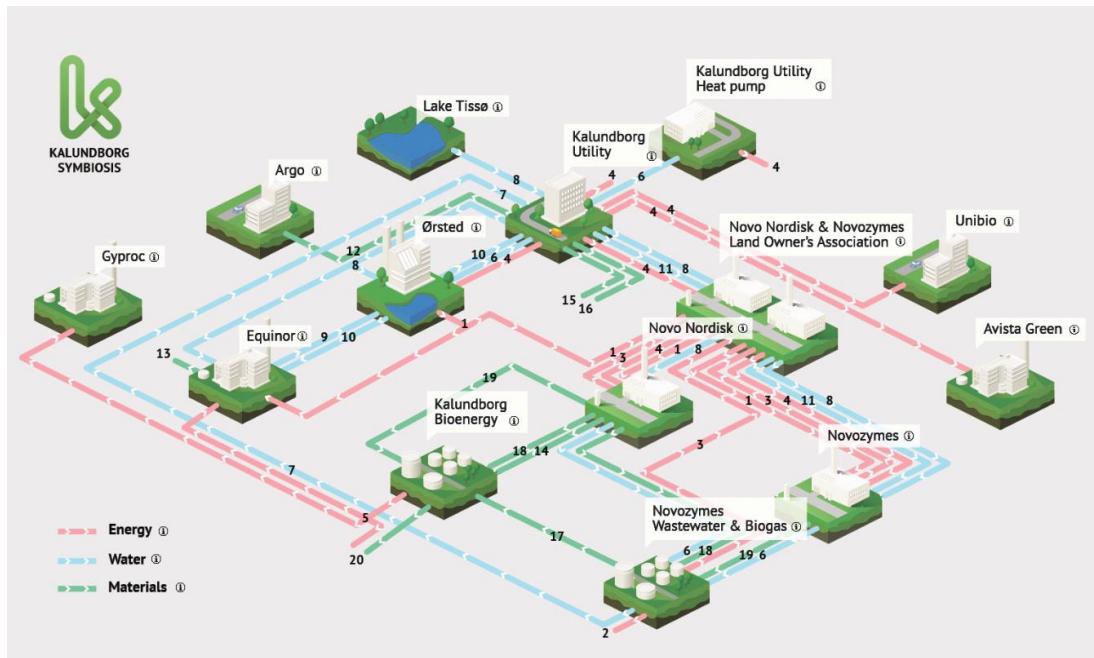


Figura 5 – Ciclo de materiais e resíduos do complexo industrial de Kalundborg
Fonte: Kalundborg Symbiosis (2020)

Além do processo cíclico dos materiais, existem muitas possibilidades para utilizar um ecossistema como fonte de inspiração. A Tabela 2 apresenta alguns dos processos listados por Zari (2014:8-12) e sugere como eles poderiam ser interpretados no contexto do ambiente construído e como cada processo poderia se relacionar de forma prática em um projeto de arquitetura. Ela demonstra também como arquitetos e engenheiros poderiam utilizar as inúmeras tecnologias sustentáveis existentes nos seus projetos.

Processos	Estratégias para mimetizar	Implicações na saúde do ecossistema e na mudança climática
Ecossistemas se adaptam e evoluem dentro de limites em diferentes níveis e diferentes ritmos	<ul style="list-style-type: none"> - Redefinir quando desenvolvimentos são considerados como finalizados e projetá-los para serem dinâmicos e permitir constantes mudanças - Projetar sistemas que incorporam níveis de redundância para permitir adicionar complexidade para evoluir ao longo do tempo - Aumentar a habilidade do ambiente construído de ser capaz de responder a novas condições, preferencialmente de forma passiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Planejar para mudanças permite adaptações mais fáceis - Menos poluição do ecossistema e da atmosfera relacionados a demolição e desperdícios de construção que podem ocorrer - Menos poluição ou destruição de habitats causados pela produção e transporte de materiais

Ecossistemas e organismos são dependentes e responsivos às condições locais	<ul style="list-style-type: none"> - Recursos e uso de materiais locais e uso das abundâncias locais ou características específicas como oportunidades de projeto - Características locais da ecologia ou cultura deveriam ser vistas como guias e oportunidades na criação de um espaço 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE) relacionados a transporte - Menos perturbações aos ecossistemas e biodiversidade se impactos com mineração/desmatamento são vistos e compreendidos pela demanda impulsionada pelos produtos dessas atividades - Comunidades locais mais robustas e economias capazes de se adaptar às mudanças climáticas
Variedade pode ocorrer pela recombinação de informações e mutações (mudança gradual)	<ul style="list-style-type: none"> - Novos projetos de arquitetura devem ser construídos baseados nos melhores exemplos de tecnologias de arquitetura de edifícios sustentáveis - Sucessos vindos de prédios vernaculares ou tradicionais devem ser examinados porque muitos se baseiam em técnicas passivas ao invés de necessitar de grandes quantidades de energia externa para funcionar - Edifícios deveriam ser projetados para permitir mudança gradual ao longo do tempo 	<ul style="list-style-type: none"> - O meio construído mais adaptável em termos de mudanças climáticas - Menos geração de resíduos quando prédios se tornam obsoletos ou inadequados (alívio positivo nas mudanças climáticas e implicações na saúde da biodiversidade)
A forma dos ecossistemas e organismos é geralmente resultado de uma necessidade funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar reduzir a quantidade de material e energia nos projetos que são respostas estilísticas à tendências de moda - Considerar o bem-estar psicológico humano nos projetos 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzir a quantidade de GEE gastos com energia e transporte de materiais - Reduzido dano ao ecossistema pelo uso dos materiais
Organismos vivos que fazem ecossistemas são normalmente feitos de elementos comuns	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais usados na construção devem ser não-tóxicos (para usar ou fabricar), benignos, e feitos a partir de materiais que não são raros ou difíceis de extrair e que são renováveis a menos que possam ser reciclados ilimitadamente 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzida mineração/extrAÇÃO de difíceis fontes materiais e portanto menos perturbação do meio ambiente - Reduzida poluição por desperdício e emissões - Ecossistema e seres humanos mais saudáveis e resilientes
Ecossistemas e seus organismos se juntam, usam e distribuem energia efetivamente	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar não somente o uso eficiente e geração de energia no ambiente urbano, mas também como essa energia é transportada, compartilhada e dissipada - Considerar usar "energia livre" ou energia "desperdiçada" de um processo para abastecer outro. Criações para aproveitar essa energia (preferivelmente de forma passiva) pode se tornar estrutural ou mais fisicamente aparentemente dentro de um mesmo edifício ou entre vários. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzida emissão de GEE vindas da queima de combustíveis fósseis para energia - Reduzida poluição/dano aos ecossistemas por meio da mineração, perfuração e emissões dos combustíveis fósseis
Energias/fontes locais tornam-se formas de organização temporal e espacial	<ul style="list-style-type: none"> - Energia deve ser obtida por meio da energia solar, do vento, da água e pela biomassa - Ambientes construídos devem ser localizados e organizados de acordo com o clima, utilizando-se possível características únicas do 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzida emissão de GEE - Reduzido uso de energia - Benefícios físicos e psicológicos - Desenvolvimento mais adequado ao contexto local

	terreno para melhorar a performance ambiental	
--	---	--

Tabela 2 – Estratégias para o ambiente construído mimetizar a partir dos processos de um ecossistema.

Fonte: ZARI, 2014:8-12. Adaptado e Traduzido pela autora

As estratégias apresentadas por Zari (2014:8-12) na Tabela 2, muito se assemelham ao que hoje é considerado como uma boa prática da arquitetura em que ao mesmo tempo que satisfaz os níveis de conforto e necessidades dos seus usuários, se adequa à topografia e ao clima existentes, atentando tanto a questões como ventilação e incidência solar, quanto às características culturais do local. Baseia-se, assim, em uma arquitetura bioclimática, vernacular e com design participativo capaz de criar edifícios que respeitem a identidade local sem perder a funcionalidade. Além disso, faz uso dos preceitos da arquitetura sustentável, que preza pela utilização de energia renovável, do uso de materiais locais e recicláveis, de captação e reaproveitamento de água e diminuição dos desperdícios. Segundo Zari e Storey (2007:4-8), as características importantes que se deve considerar ao mimetizar ao nível do ecossistema são: utilizar de forma cíclica energia e materiais; utilizar as abundâncias locais como oportunidades; criar condições favoráveis à vida sem prejudicar o meio ambiente; criar um ambiente diverso em componentes, relações e informações tal qual a rede entre os organismos e o meio em que vivem de forma cooperativa e capaz de se adaptar a mudanças, evoluir e se curar. Isso se refletiria no meio construído como uma forma de responder a mudanças, aumentando sua dinamicidade e capacidade regenerativa, seja por acréscimos, por adaptações ou por desmonte.

Um edifício que reflete bem os preceitos do ecomimetismo é o prédio do Conselho de Melbourne 2 (Figura 6), também chamado de CH2, na Austrália, projetado por uma parceria entre a cidade, Mick Pearce e o DesignInc, com uma grande equipe de consultoria para questões ambientais, estruturais, acústica, paisagismo e instalações, e finalizado em 2006. A cidade de Melbourne estabeleceu como meta atingir emissões zero de carbono para o município em 2020 e a construção do CH2 buscou criar um exemplo para o desenvolvimento do mercado local com a criação de “um edifício que dependesse tanto quanto possível de sistemas de energia passiva enquanto produz um edifício de qualidade superior” (ARCHDAILY, 2013). Primeiro edifício de escritórios comerciais da Austrália a conseguir e exceder a classificação de seis estrelas do Green Building Council of Australia, esse prédio foi pensado com tecnologias sustentáveis em cada aspecto dos seus 10 andares, entre eles: estação de tratamento de água subterrânea, janelas automáticas para liberar calor durante a noite, brises ajustáveis à incidência solar, jardins verticais na fachada, painéis solares, uso de chillers para resfriamento interno por meio da circulação de água gelada por dutos ao longo do edifício e exaustão de ar quente e produção de energia com turbinas na coberta.



Figura 6 – As fachadas norte, sul e oeste do Prédio do Conselho de Melbourne 2
Fonte: Archdaily (2013)

Cada fachada foi pensada de acordo com necessidades específicas quanto à ventilação e incidência solar. Segundo Abaeian, Madani e Bahramian (2016:270-274), no verão durante o dia, na fachada sul, que fica na sombra, o ar fresco entra no espaço interno por meio de aberturas embutidas nos pisos e o ar quente sobe pelo forro suspenso e é guiado para aberturas na fachada norte, exposta ao sol e que tem, como barreiras para amenizá-lo, jardins verticais. O forte movimento de ar resultante move turbinas na cobertura, capazes de gerar energia para sprinklers localizados a 17m de altura na fachada sul e que amenizam ainda mais a temperatura dos ventos incidentes por meio de resfriamento evaporativo. Ao longo da noite, as janelas se abrem e se fecham de forma automática, baseado nos ventos, chuva e temperaturas interna e externa, para permitir a entrada de vento fresco e liberação do ar quente para resfriar o espaço interno aquecido durante o dia (Figura 7). No inverno, por sua vez, os brises da fachada oeste são abertos para permitir maior incidência solar no interior do edifício e aquecê-lo ao criar um efeito estufa no prédio. Dessa forma, o projeto funciona de forma interativa com a cidade e a natureza, onde seus diferentes mecanismos trabalham de forma colaborativa para gerar bem-estar, energia e conforto de forma passiva sem perder a funcionalidade e sem agredir ao meio ambiente.

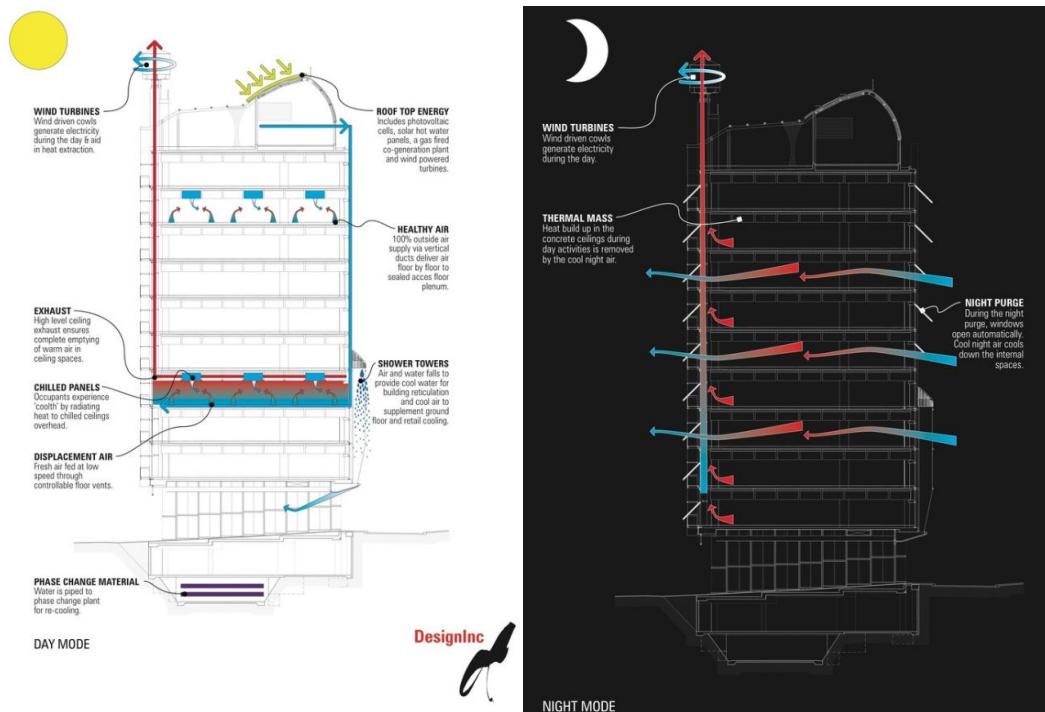


Figura 7 – Processos de funcionamento no verão durante o dia e noite do Prédio do Conselho de Melbourne 2
Fonte: Archdaily (2013)

Outro exemplo de sucesso com o uso do ecomimetismo é o *masterplan* para a ilha de Zira, no mar Cáspio próximo à capital do Azerbaijão e projetado em 2009 pelo escritório BIG gerenciado por Bjarke Ingels. Ainda não realizado, o projeto buscou criar um complexo de 1 milhão de metros quadrados que seria um ecossistema independente capaz de se auto sustentar e manter harmonia com o meio ambiente. Segundo Abaeian, Madani e Bahramian (2016:274-276), tomando como inspiração ecossistemas naturais, o conforto foi alcançado por meio da coordenação do ambiente do entorno. Assim, os espaços residenciais e de lazer do projeto são localizados em torno de 7 montanhas artificiais (Figura 8), baseadas não só na topografia do país, mas também estrategicamente localizadas, de acordo com o fluxo da ventilação entre elas, para definir a implantação e usos adequados para cada área específica e fazendo uso da vegetação e espaços verdes para regular a velocidade dos ventos quando necessário.

O projeto conta com o uso de energia eólica por meio de turbinas, instaladas na costa do mar Cáspio, que fornecem energia para unidades de dessalinização de água para torná-la potável e pronta para ser consumida. A água também é usada para aquecer e resfriar os prédios e toda a água já utilizada retorna para o ambiente, junto com a água da chuva coletada, para aguar a vegetação da ilha. Os resíduos sólidos recolhidos no tratamento da água também são utilizados como nutrientes para as plantas. Além disso, conta com aquecedores e painéis solares instalados nas fachadas e coberturas dos edifícios projetados como fonte de energia limpa. “Todos esses elementos juntos fazem a ilha ser facilmente habitável, independente e com um ecossistema sustentável” (ABAEIAN, MADANI E BAHRAMIAN 2016:274). Assim, ao utilizar e gerir os potenciais naturais do sol, vento e água, com inspiração nos processos cílicos naturais de um ecossistema, esse projeto conseguiu gerar conforto e redução de energia para os prédios.



Figura 8 – Imagem renderizada do projeto da ilha de Zira no Azerbaijão

Fonte: Archdaily (2009)

Esses são só alguns exemplos de como se pode utilizar a natureza como inspiração para encontrar novas e melhores soluções para os problemas que arquitetos e engenheiros enfrentam e se deparam no dia a dia. Os projetos analisados mostram que tomar como inspiração um ecossistema, seus processos e funções, apesar de não existir ainda muita bibliografia e pesquisa sobre o assunto; e utilizar em projetos métodos de construção e tecnologias sustentáveis existentes, mesmo que elas não sejam necessariamente baseadas no biomimetismo, contribui para um melhor funcionamento do edifício e do meio urbano construído ao permitir uma maior integração com os recursos naturais e utilizar energia de forma passiva, sem prejudicar o meio ambiente.

3. Conclusão

O biomimetismo tem grande potencial para mudar paradigmas da indústria de materiais e construção e de se tornar uma corrente de arquitetura adotada no mundo todo que vai além dos princípios da sustentabilidade. Com o avanço cada vez maior de tecnologias e das ferramentas de projeto que utilizam parametrização e algoritmos, é só uma questão de tempo, pesquisa e investimento para que novos materiais e formas de se pensar a arquitetura e a cidade, inspirados no funcionamento de ecossistemas ou organismos de animais e plantas, se torne realidade. Trata-se de uma abordagem multidisciplinar, que envolve não somente arquitetos e engenheiros, mas que para alcançar o sucesso, deve trabalhar em conjunto com biólogos, capazes de extrair informações dos seres vivos e ecossistemas, e engenheiros mecânicos e de materiais capazes de dar forma às informações aprendidas em técnicas, equipamentos e soluções para o projeto. Faz-se necessário, portanto, o estímulo e interação entre diferentes áreas de atuação, pois existe pouca teoria e pesquisa sobre o assunto, e de trazer a problemática para discussão desde os primeiros anos da faculdade com disciplinas, workshops e seminários que integrem desde cedo essas formações, para desenvolver, assim, profissionais capazes de extrair o que há de

melhor do que a natureza tem para oferecer e de encontrar soluções que não sejam superficiais, uma vez que existe grande potencial para se resolver os problemas da sociedade moderna como energia, recursos, mudanças climáticas e a preservação do meio ambiente, por meio de materiais, tecnologias, edifícios e cidades que sejam criados, existam e funcionem em conjunção com a natureza. Apesar de já existirem tecnologias e métodos de construção sustentáveis, que permitiriam a utilização pelo menos do ecomimetismo, ainda são pouco utilizados de forma cooperativa, não permitindo, assim, a completa integração com o meio ambiente em que os projetos estão inseridos. Assim, a natureza, apesar de sofrer bastante com o impacto do ser humano, sempre se mantém resiliente e capaz de se adaptar às adversidades tendo muito a oferecer como ensinamento para que o espaço urbano construído possa viver em harmonia e inserido nos ecossistemas sem agredi-los.

Referências

ABAEIAN, H.; BAHRAMIAN, A; MADANI, R.. **Ecosystem biomimicry: a way to achieve thermal comfort in architecture.** Isfahan: International Journal Human Capital Urban Manage, 2016, 4. ed. p. 267-278. Disponível em: <http://www.ijhcum.net/article_24704.html> Acesso em: 29 julho 2020.

AGKATHIDIS, A. **Implementing biomorphic design:** design methods in undergraduate architectural education. Liverpool: CAAD Design Tools, 2016, p. 291-298. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2016_026.pdf> Acesso em: 04 abril 2020.

ARCH2O. **How biomimicry enhances creativity.** Disponível em: <<https://www.arch2o.com/biomimicry-enhances-architecture/>> Acesso em: 10 março 2020.

ARCHDAILY. **Escritórios do conselho de Melbourn 2 (CH2)/DesignInc.** Disponível em:<<https://www.archdaily.com.br/01-132298/escritorios-do-conselho-de-melbourne-2-ch2-slash-designinc>> Acesso em: 05 agosto 2020.

ARCHDAILY. **Zira Island Carbon Neutral Master Plan/BIG Architects.** Disponível em:<<https://www.archdaily.com/12956/zira-island-carbon-neutral-master-plan-big-architects>> Acesso em: 05 agosto 2020.

AUTODESK. **Nature does it better:** biomimicry in architecture and engineering. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/redshift/biomimicry-in-architecture/>> Acesso em: 10 março 2020.

BENYUS, J. M. **A Biomimicry primer.** Biomimicry 3.8. 2016. Disponível em: <https://biomimicry.net/b38files/A_Biomimicry_Primer_Janine_Benyus.pdf> Acesso em: 04 junho 2020.

BIOMIMICRY 3.8. **How does a practitioner start the biomimicry process?** Disponível em: <<https://synapse.bio/blog/biomimicryfaqs?rq=design%20biology>> Acesso em: 10 junho 2020.

FRANCO, J. T. **Arquitetura biomimética:** o que podemos aprender com a natureza? Archdaily Brasil. 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/01-157662/arquitetura-biomimética-o-que-podemos-aprender-da-natureza>> Acesso em: 10 março 2020.

INHABITAT. **Biomimetic architecture:** green building in Zimbabwe modeled after termite mounds. Disponível em: <<https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>> Acesso em: 10 julho 2020.

KALUNDBORG SYMBIOSIS .**Explore the Kalundborg Symbiosis.** Disponível em: <<http://www.symbiosis.dk/en/>> Acesso em: 01 agosto 2020.

PARAMETRIC HOUSE. **Biomimicry architecture #3.** Disponível em: <<https://parametrichouse.com/biomimicry-architecture-3/>> Acesso em: 24 junho 2020.

PEARCE, M. **Eastgate.** Disponível em: <<https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>> Acesso em: 10 julho 2020.

SHIMOMURA, M. **The new trends in next generation biomimetics material technology:** learning from biodiversity. Tohoku: Quarterly Review No. 37, 2010, p. 53-75. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/aaa8/806dba024d223c91d880b9f9e78601748b0a.pdf>> Acesso em: 22 maio 2020.

SHIVA, K. **Algorithms in nature & architecture:** biomimetic architecture. Florença, [s.n], 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/293178740>> Acesso em: 27 março 2020.

STOTT, R. **Silk pavilion/ MIT Media Lab.** Archdaily. 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/384271/silk-pavilion-mit-media-lab>> Acesso em: 10 julho 2020.

TURNER, J. S.; SOAR, R.C. **The beyond biomimicry:** what termites can tell us about realizing the living building. Loughborough, Artigo para I3CON, 2008. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/255650482>> Acesso em: 03 junho 2020.

ZARI, M. P. **Ecosystem processes for biomimetic architectural and urban design.** Wellington, Architectural Science Review, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2014.968086>> Acesso em: 23 julho 2020.

ZARI, M. P.; STOREY, J. B. **An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment.** Lisboa, Lisbon Sustainable Building Conference, 2007. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/261477552>> Acesso em: 28 julho 2020.