

QUALIDADE DO AR EM CONSTRUÇÕES BIOMIMÉTICAS: COMO A NATUREZA INSPIRA EDIFÍCIOS MAIS SUSTENTÁVEIS E SAUDÁVEIS

Maila P. Souza Godoi, Prof.a Dra. Célia Regina Moretti Meirelles

RESUMO: O mundo vem trazendo a tona cada vez mais a preocupação com o meio ambiente, dessa forma, o setor da construção civil busca continuamente soluções sustentáveis e eficazes afim de reduzir seu impacto em relação a produção de poluentes e gestão de resíduos. Há, no entanto, diversas formas de se buscar uma arquitetura sustentável, uma delas é a arquitetura biomimética. A Arquitetura Biomimética é uma corrente contemporânea que vem chegando no século XXI com o objetivo de criar edifícios auto sustentáveis e modernos, projetos mais duradouros, contribuindo para uma melhor qualidade de vida da sociedade como um todo. A partir da problemática levantada com a questão bioclimática que o mundo enfrenta atualmente, a pesquisa aborda um olhar multidisciplinar, que vem sendo estudado cada vez com mais frequência por pesquisadores e profissionais, abrangendo conceitos do Design contemporâneo juntamente com o uso de técnicas inspiradoras. As construções Biomiméticas buscam melhorar a qualidade do ar interno através de uma abordagem inspirada na natureza, onde nada é rejeitado ou inutilizado, assim fazendo uso de técnicas de ventilação natural, filtragem de ar avançada, incorporação de plantas e vegetação, além de outras soluções. Sendo possível proporcionar benefícios para a saúde e bem-estar dos seus usuários, melhorar a eficiência energética e reduzir a pegada de carbono do edifício. O artigo visa apresentar o conceito e analisar algumas técnicas estudadas e aplicadas, que permitiram uma qualidade de ar à construção definida como estudo de caso. Dessa forma sendo possível levar alternativas para futuros projetos e estudos. Assim, trazendo o desenvolvimento de edifícios mais eficientes e sustentáveis, proporcionando uma maior interação da construção com o meio em que está inserido e trazendo uma melhor qualidade de vida aos seus usuários. Com base em tais argumentos, a pesquisa reforça a importância interdisciplinar entre as áreas para o desenvolvimento projetual de soluções cada vez mais sustentáveis para toda sociedade.

Palavras-chave: arquitetura biomimética, sustentabilidade, conforto ambiental, qualidade do ar

INTRODUÇÃO

Há uma elevada preocupação com os efeitos bioclimáticos em termos da sustentação da vida no planeta devido às questões como as consequências do aquecimento global, dessa forma, diversos setores buscam novas tecnologias afim de minimizar este efeito. Dessa forma surgem novos conceitos e soluções de gestão sustentável, entre outros, comercial e industrial.

De acordo com Butera (2014, p.10) agora é a hora de aplicarmos a questão da sustentabilidade nas grandes cidades. Seria uma mudança no paradigma urbano, "talvez a única chance que temos de lidar com a atual tendência mundial, que está levando a catástrofe econômica ou ecológica, ou ambas." Ele continua seu discurso, afirmando que não será uma tarefa fácil, pois exigirá uma mudança não só tecnológica, mas também cultural.

Pensando nessa preocupação com o meio ambiente já latente na sociedade moderna, encontramos um novo estudo sendo analisado, em 1997 Janine M. Benyus, uma bióloga norte-americana, lançou um livro onde apresenta o que a autora considera ser uma revolução científica, chamada Biomimética. Um conceito utilizado por grupos de cientistas e inventores que estavam criando inovações com base na natureza, de forma que podemos mudar "o modo como produzimos nossos produtos, nossos projetos e nossas construções, em especial como aproveitamos a energia, armazenamos informações e até o modo como habitamos".

O termo biomimética é derivado do grego *bios*, que significa vida; e *mimésis*, que significa imitação. Apesar da técnica científica ser considerada moderna, suas aplicações remontam há séculos, quando os humanos observavam o funcionamento de todas as estruturas da natureza e a recriavam.

A partir de então, temos alguns arquitetos e engenheiros investindo no estudo e aplicação da ideia. Em 2006, o governo de Melbourne, na Austrália, investiu nesse projeto aplicando o conceito da arquitetura biomimética inspirado em todo o ecossistema. Um projeto com a estratégia de ser um exemplo para o mercado de desenvolvimento local.

Haska e Ercoşkun (2020) apontam que a arquitetura de biomimética apresenta um papel de grande importância nos projetos ecologicamente corretos.

De acordo com De Luca (2019), atualmente existem diversas soluções que vem sendo buscadas junto a setores como da construção civil, a fim de resolver questões

ambientais. A biomimética é uma delas, e deve se tornar cada vez mais presente em obras no Brasil e no mundo; já que parte do princípio simples de observar e aprender com a natureza. " A aplicação da biomimética pode ir além de construções isoladas. Em um momento no qual falamos cada vez mais de cidades inteligentes, conectadas e ecológicas, a solução pode vir dos organismos vivos e ecossistemas naturais – já que são os mais adaptados e resilientes que conhecemos". Dessa forma, entendemos que conceitos biomiméticos podem ser uma tendência na arquitetura e futuramente uma exigência do mercado atual.

Keller e Burke (2010), destacam a questão da arquitetura em si, como um estudo aprofundado que envolve mais do que apenas projeto de ambientes internos e externos, temos também um estudo da relação dos seres humanos com os espaços em que convivem, Podemos considerar a arquitetura como um "reflexo da cultura, uma mescla entre tecnologia e arte".

Ainda segundo os autores, quando falamos de projeto de arquitetura, dentre todos os temas que envolvem uma edificação, o item espaço interno, pode ser apontado como o item que mais rápido é percebido, não só por sua estética, mas também pelo seu conforto e sua função. " A qualidade do ambiente interno se refere ao grau de eficiência e de conforto experimentado pelas pessoas em espaços internos, o qual, por sua vez, é interpretado como a soma das reações psicológicas e fisiológicas frente aos fatores do projeto". Temos como objetivo unir conceitos sustentáveis afim de adquirir a melhor qualidade nas construções, trazendo benefícios para toda sociedade.

METODOLOGIA

O método aplicado para a pesquisa foi o de estudo de caso como parte de uma lógica dedutiva, tomando como unidade significativa do todo, como observa Danton, (2000, p.18) em sua obra sobre metodologia científica. Foi adotada também a revisão de literatura, incluindo trabalhos acadêmicos, teses, periódicos, dissertações, livros sobre os temas discutidos, que irão embasar o tema discutido e estudado.

Será feita uma breve análise em projeto escolhido, a partir de então será feito estudo e com dados disponíveis, afim de comprovar a eficiência das técnicas utilizadas.

Assim, a pesquisa irá avaliar critérios qualitativos conforme análise de caso.

A revisão bibliográfica buscou contemplar três abordagens, sendo uma delas subdividida: A primeira sobre a importancia da qualidade do ar nos ambientes internos e os itens que abrangem a questão. A segunda parte visa a definição do conceito de biomimetismo e arquitetura biomimética, com o objetivo de facilitar o entendimento do uso das técnicas utilizadas no projeto estudado, e como a qualidade do ar é buscada em projetos em que o conceito é aplicado. A ultima parte foca na análise do projeto; assim, subdividindo o artigo em partes para que a compreensão do desenvolvimento da pesquisa fosse melhor absorvida. Para o levantamento, foram feitas buscas em bancos de dados digitais a partir das seguintes palavras-chave: Arquitetura Biomimética; qualidade do ar; ambientes internos; Qualidade do ar Biomimética; Projetos Biomiméticos, Museu do Amanhã. Os bancos acessados até o momento foram, o Google acadêmico, livros, a biblioteca digital Scrib, do Kinddle e o site archdaily, sendo selecionados trabalhos que abordavam o tema estudado ou mencionavam o projeto analisado.

1. Qualidade do Ar Interno nas edificações

Segundo De Luca (2019), a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), apresentou estudos que indicam que os níveis de concentração de poluentes no ar, chegam a ser até cinco vezes maiores em ambientes internos, quando comparados aos externos, isso sendo medido desde cidades mais rurais até as mais industrializadas. "A exposição a poluentes aliado ao tempo de permanência em ambientes internos faz com que os riscos à saúde humana sejam altos nesses locais."

A poluição do ar é definida como a presença de um ou mais contaminantes na natureza em quantidades que podem comprometer a qualidade deste recurso, tornando-o impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade. (MOTTA E MENDES, 1995, p.2)

Keller e Burke (2010), nos trazem um olhar em relação a qualidade do ar interno nas edificações, de acordo com ambos o que faz com que os usuarios definam os componentes da qualidade do ar em um ambiente interno, são os sentidos e o sistema nervoso. A partir da acústica, iluminação natural, conforto visual, conexão com o exterior e conforto térmico, podemos avaliar o quanto o ambiente nos afeta. Os autores afirmam que a qualidade do ar interno chega a afetar a produtividade e o humor, não apenas a saúde de seus usuarios. O que trás diferentes resultados conforme o uso do edificio. Quando falamos de escolas, edificios comerciais, hospitais ou residenciais, as preocupações com o ar interno são diferentes, no entanto trazem a mesma questão a tona: o conforto e bem-estar de seus usuarios.

Keller e Burke (2010), descrevem alguns dos impactos diretos que a qualidade do ar interno trás para a população como um todo, tais como custos maiores com serviços de saúde, diminuição da produtividade, desvalorização de imóveis, entre outros. Tais pontos, trouxeram uma preocupação com as edificações, que atualmente

buscam adotar medidas mais eficientes em busca dessa melhora do ar interno e da sustentabilidade.

1.1 Fatores Da Qualidade Do Ambiente Interno

Em 2018, a Organização Mundial da Saúde, estimou que cerca de 90% das pessoas em todo o mundo respiram ar poluído. De acordo com De Luca (2019), podemos considerar que a qualidade do ar em ambientes internos pode ser afetada por diversos fatores poluentes, que são produzidos dentro da própria construção, emitidos pelos materiais os quais foram construídos, a base de solventes orgânicos, assim como o uso diário de materiais de limpeza, mofo que podemos encontrar, e até mesmo o metabolismo humano e suas atividades como cozinhar e lavar roupas. Em todos esses pontos, podemos identificar a emissão de poluentes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, amônia, óxido de enxofre e nitrogênio entre outros.

Tais poluentes podem ser transportados pela ventilação ou pela infiltração do edifício. Keller e Burke (2010), apontam que compostos orgânicos voláteis, associados aos itens mencionados, costumam afetar mais o ambiente interno do que poluentes trazidos do ambiente externo.

Assim, vamos analisar os pontos específicos que são estudados para uma melhor qualidade do ar no ambiente interno.

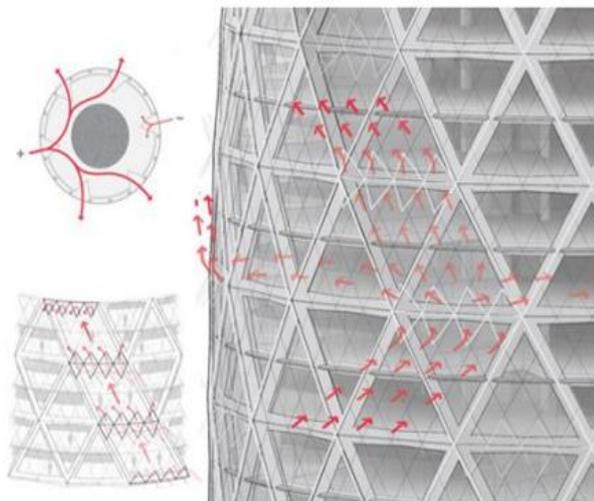
1.1.2 Ventilação

A ventilação tem como objetivo principal, remover e diluir poluentes das edificações. Sendo assim, Keller e Burke (2010), trazem como premissa, o estudo da fachada, da localização e implantação da construção. Esses itens são variáveis que devem ser analisadas e estudadas na etapa inicial do projeto. Podemos encontrar uma boa ventilação em um equilíbrio entre as prioridades de projeto e as preocupações do terreno, apontam os autores.

"Os sistemas de ventilação quando não realizam uma boa troca de ar ou estão sem manutenção se tornam potenciais fontes de disseminação de poluentes como substâncias e partículas". (Jones, 1999). Assim, se torna essencial para uma boa qualidade do ar que a ventilação natural do ambiente seja constante e se houver ventilação artificial, a mesma passe por manutenção corretamente.

O uso de fachadas ventiladas vem sendo uma alternativa de revestimento nas edificações contemporâneas, com uso de formas, materiais e dimensões sendo exploradas com foco na melhor qualidade do ar nos ambientes internos. Um exemplo utilizado nessas fachadas, podemos encontrar no edifício St. Mary Axe, chamamos de "efeito chaminé", obtido a partir de um vão aberto, entre a parede do edifício, que é coberta com uma camada de isolamento e a fachada externa, permitindo um movimento do ar de fora pra dentro, sendo capaz de ventilar o espaço interno de forma eficiente sem o uso de energia elétrica, e que apresentam bons resultados em todas estações do ano (figura 01), afirma Haska e Ercoşkun (2020). Destacam ainda a importância do isolamento nessas fachadas, "pois garante a impermeabilidade externa e não cria barreiras ao vapor que vem de dentro".

Figura 01 - Esquema de Ventilação - vãos fachada



FONTE: <https://www.archdaily.com.br/> - Acessado em junho/2022

1.1.3 Acústica

O conforto acústico vem sendo uma questão cada vez mais abordada nas grandes cidades, em termos de saúde pública. Ruídos estão sempre presentes na sociedade contemporânea. Keller e Burke (2010), afirmam que os níveis de ruído podem causar danos a saúde, trazendo perdas auditivas. "Os ruídos aumentam os níveis de estresse e reduzem a produtividade", afirmam os autores. As soluções que reduzem os níveis de ruído, inclui um sistema que ameniza o som externo ou faz uso de um controle ativo de ruídos, que " utiliza sons com a mesma amplitude e a polaridade oposta para neutralizar os ruídos existentes após analisa-los em computador".

1.1.4 - Iluminação Natural

Fretin (2009), descreve técnicas do uso da iluminação solar passiva, como um meio de buscar melhores formas de se aproveitar a luz solar para reduzir a necessidade do uso de luz artificial nos ambientes internos, dessa forma, evitando o ofuscamento. Essas técnicas "permitem orientar, posicionar e dimensionar as aberturas, assim como desenvolver soluções criativas que otimizam, em quantidade, a luz natural dos interiores", o autor cita técnicas como dutos que podem ser usados para conduzir a luz, claraboias usados na iluminação zenital e prateleiras de luz que, "por reflexão, levam a luz para ambientes afastados das fachadas.". Quando a luz externa é excessiva, o autor comenta de elementos de proteção que podem ser utilizados, como persianas, brises, marquises, muxarabis, quebra-sóis e elementos vazados, para proteger, diminuir e controlar a entrada de luminosidade.

Muxarabis, foram utilizados pelo arquiteto Jean Nouvel no Instituto do Mundo Árabe, executado em 1981, em Paris, França. O sistema que incorpora várias centenas de diafragmas sensíveis à luz que regulam a quantidade de iluminação que entra no edifício. Quadrados, círculos e formas octogonais são produzidos em um movimento fluido à medida que a luz é modulada em paralelo. (figura 02 e 03)

Fig.02- Det. Externo Muxarabi



Fig. 03 - Vista interna Muxarabi



FONTE:<http://archdaily.com>

FONTE: <http://instituto-do-mundoarabe/>

Nos informa Lamberts et.al (2004), embora esses dispositivos oculares criem uma estética incrível, eles também são funcionais do ponto de vista de controles ambientais. O ganho solar é facilmente controlado fechando ou reduzindo os tamanhos de abertura, assim, os espaços internos são dramaticamente modificados, junto com sua aparência externa.

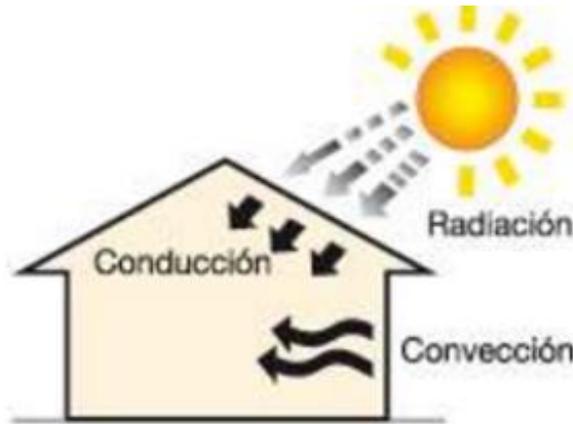
Keller e Burke (2010), destacam que a iluminação natural é um item específico na medição da qualidade do ar no ambiente interno. A partir da iluminação natural é possível equilibrar diversos benefícios, visto que seu uso é capaz de fornecer bem-estar além de reduzir o consumo de energia. Há diversas soluções envolvendo o melhor uso da iluminação natural, essas soluções envolvem decisões tomadas nas etapas iniciais de projeto, como a implantação e as aberturas, assim como seu tipo.

1.1.5 Conforto Térmico

Keller e Burke (2010), apresenta variáveis de uma equação desenvolvida pelo cientista e professor universitário P. Ole Fanger, cujo objetivo era chegar a uma definição matemática do conforto térmico. Dessas variáveis, quatro delas são modelos ambientais, como a temperatura ambiente, a radiante, a unidade relativa e a velocidade do ar, as outras duas são consideradas metabólicas, pois se referem ao usuário. Assim, se observa que o conforto térmico de um ambiente interno pode se resumir a uma sinergia da construção, com suas instalações, juntamente com as atividades e padrões dos usuários. A busca por soluções que beneficiam o conforto do edifício, devem ser avaliadas conforme estudo que incluam o uso do edifício e comportamento de seus usuários.

Segundo Keller e Burke (2009), um edifício pode sofrer troca de calor por meio de sua envoltória, que serve como um filtro da radiação solar. Segundo os autores, há três formas de transferência de calor da área externa para a interna de uma edificação. Podemos ver na figura 04, algumas dessas formas sendo o Sol a fonte principal de energia.

FIG.04: Mecanismo de ganho de calor em edifício construído



FONTE: <http://www.masisa.com/arg/>

Haska e Ercoşkun (2020), nos trazem uma visão urbana que deve também ser analisada. As fachadas de um edifício podem ser vistas como um elemento chave na questão construtiva, afim de buscar as melhores soluções de conforto interno, representando "a linguagem arquitetônica para todo o edifício, pois são uma combinação de paredes, portas e janelas que na sua totalidade criam, dão forma e carácter a um edifício", destaca os autores.

2. Biomimética na Arquitetura

Os primeiros estudos em torno do tema surgiram apenas no séc.XX. Apesar de Thompson (1945) evidenciar a elevada eficiência mecânica das estruturas naturais e apresentar vários desenvolvimentos científicos alcançados devido à observação do meio ambiente, no início do século e William Gordon (1961), na mesma linha de raciocínio, apontar a Natureza como fonte potencial de analogias que ajudam a satisfazer as necessidades do Homem. O potencial do conceito só viria a ocorrer num encontro em 1960 na base aérea Wright-Patterson de Dayton, Ohio (EUA), onde Otto Schmitt introduziu pela primeira vez a ideia de biomimetismo. (Harkness, 2002)

Benyus (1997), nos trás um definição mais detalhada da biomimética em sua obra. A autora enxerga o conceito dividido em três partes, sendo possível ter a natureza como modelo, onde a biomimética chega como uma nova ciência, analisando, imitando e se inspirando em modelos e processos naturais, afim de solucionar questões que os homens já vem pesquisando. Também coloca a natureza como medida, a utilizando como "um padrão ecológico para ajuizar a correção das novas inovações." Isso porque a autora defende que após bilhões de anos de evolução, o meio ambiente já desenvolveu

suas próprias características do que funciona, do que dura e do que é apropriado. Por último, Benyus (1997), afirma que a natureza se apresenta como mentora, apresentando uma nova forma de aprender com ela, não apenas extrair. "As lições da natureza seriam a espinha dorsal da formação de todo engenheiro da ciência dos materiais", conclui.

Sá e Viana (2020) afirmam que, "a natureza provem de um grande repositório de conhecimento e inspiração para arquitetos e designers, fazendo com que o conhecimento da biomimética mereçam um estudo mais aprofundado", devido ao seu potencial e embasando projetos e pesquisas em teorias e conceitos, além de haver uma "compreensão aprofundada das ferramentas e métodos disponíveis de acordo com o projeto", concluem que a natureza constitui uma direção em projetos e as características da biomimética devem ter seus estudos mais aprofundados afim de serem aplicados na área.

O estilo arquitetônico mudou ao longo dos anos, adaptando-se a um mundo que busca aumentar a complexidade científica e técnica, as exigências do mercado e a relação custo-eficácia.

A biomimética é uma das muitas ferramentas para desenvolver soluções sustentáveis para um ecossistema equilibrado, capacitando as pessoas a aprender e aplicar estratégias projetuais. As cidades são afetadas pela poluição devido ao tráfego e superpopulação, então tentar abordar novas maneiras de fazer melhor é uma coisa inspiradora de se ver para as gerações futuras. (Washburn. 2013). Então o objetivo primário dessas tecnologias seria a purificação do ar. No entanto, estudos e investigações por meio de revisão de literatura a respeito precisam ser feito para encontrar soluções adequadas para o meio ambiente, a demanda do mercado e custo-efetividade. Haska e Ercoşkun (2020) - traduzido pela autora

Atualmente é possível observar um avanço na área do biomimetismo aplicado nas edificações, vem aumentando as pesquisas e estudos por profissionais nas

áreas de arquitetura e engenharia a respeito do conceito, assim como na elaboração de prováveis metodologias de aplicação do conceito e busca de novas soluções, sendo possível vermos aplicações de forma eficiente e inovadoras em questões projetuais. De acordo com a figura 05, vemos um exemplo de arquitetura biomimética. Parte da cobertura que Frei Otto desenvolveu com Günter Behnisch para o Estádio Olímpico de Munique, foi inspirada nas asas de uma libélula, a estrutura é formada por cabos de aço e peças de PVC. Econômica e resistente, é precursora das estruturas adaptativas. (Eva Van Denberg, 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.pt/natureza/grandes-reportagens/2480>)

FIGURA 05 : Parte cobertura Estádio Olímpico de Munique



FONTE: <https://www.nationalgeographic.pt/natureza/grandes-reportagens/2480>

Os autores Avinç et. al (2022), trazem uma questão a ser debatida, “o design biomimético, pode apresentar o potencial de causar uma mudança de paradigma no pensamento de design”. Os pesquisadores, acreditam que essa nova forma de projetar apresentam novos mecanismos biológicos que possuem potencial para serem estudados e explorados mais profundamente, para uma nova abordagem dentro da arquitetura. Buscando melhores respostas para redução de energia nas edificações, possibilitando que profissionais da área, sejam capazes de buscar " soluções para melhorar o desempenho energético usando a biomimética, sua prioridade será descobrir cada vez mais, novos exemplos biológicos apropriados ao caso que estiverem trabalhando".

2.1 Arquitetura Biomimética e a Qualidade Do Ar

De acordo com Benyus (1997), o meio ambiente é capaz de "filtrar partículas e gases, seja através da ventilação, ou mesmo da troca de substâncias", isso ocorre a partir do ecossistema o qual o organismo faz parte. A partir desse pensamento, vemos a necessidade de se pensar no edifício um "pulmão artificial" que seja capaz de filtrar o ar, por meio da ventilação natural, fazendo uso de técnicas construtivas inseridas no projeto.

Haska e Ercoşkun (2020) destacam que os estudos da biomimética ainda não alcançaram um nível de metodologia concretizada, pois se depararam com dificuldades "na tradução dos sistemas biológicos para o âmbito tecnológico". Dessa forma Gruber (2013), ressalta que deva haver algumas definições acerca da inserção do conceito em projetos, de forma estatégica, o autor nos mostra que o a biomimética carrega uma metodologia multidisciplinar, dessa forma se fazendo imprescindível a comunicação em todas as áreas envolvidas para alcançarmos o resultado desejado. Benius (1997), junto ao Biomimicry Institute 3.8, vem desenvolvendo um metodologia para desenvolvimento de novos produtos, seus parceiros nomearam esse método de " Biomimicry Thinking", que apresenta um olhar diferenciado do design biomimético.

Janine Benius e seus colaboradores apresentam uma metodologia definida como "Biomimicry Thinking" que apresenta as lentes do design biomimético, fornecendo o contexto para onde seguir (tomadas de decisões), como, o quê e porque a biomimética se encaixa no processo de qualquer disciplina ou em qualquer escala de design (projeto). A metodologia, é uma estrutura que se destina a ajudar pessoas a praticar a biomimética ao projetar qualquer coisa. Primeiramente, aborda três princípios, intitulado de "elementos essenciais".

E posteriormente, Inclui quatro fases que colaboram para o processo de design: a definição do problema e escopo, descoberta da solução, emulação e avaliação. Sendo que cada fase se desdobra em vários passos realizadas em ciclos contínuos e repetidos, que gradualmente aumentam

em complexidade conforme especificidades e avanço das etapas. (Eneida HASKA and Kerem ERCOŞKUN Okan University Faculty of Art, Design and Architecture; Architecture Department, Istanbul)

De acordo com Keller e Burke (2010), ao se analisar minuciosamente, podemos observar que boa parte de um projeto que visa a qualidade do ar em um ambiente interno, se baseia no conceito de biofilia, "uma abordagem inovadora que enfatiza a necessidade de manter, melhorar e restaurar a experiência benéfica da natureza, no ambiente construído". Os autores apontam a sinergia fundamental que deve haver entre seres humanos e natureza, quando se trata de componentes da qualidade do ambiente interno, assim como outros fatores, sendo um deles a conexão com o ambiente externo.

De Luca (2019), apresenta o cobogó, que se mostra uma combinação do uso do conceito da biomimética e elementos vazados. Trazendo-o como uma solução usada em fachada que vai além de sua função estética. Os cobogós, se propõe a melhorar a qualidade do ar interno, permitindo trabalhar com a ventilação e iluminação natural local.

Entre as décadas de 30 e 60, particularmente, características bioclimáticas se apresentam na arquitetura modernista brasileira, aponta Gonçalves e Duarte (2006, p.54). Detalhes como o uso de quebra-sóis e cobogós, amplamente utilizados por arquitetos nesse período. As autoras citam Lúcio Costa como um dos arquitetos brasileiros que pode ser apontado como um exemplo nessa "prática arquitetônica, na medida em que ressalta a importância da compreensão das condições climáticas e da geometria solar para a concepção de projetos". Podemos observar na figura 06 um exemplo de obra do arquiteto com o uso de cobogós.

Estudos em Ciências Humanas e Sociais no Brasil: Produções Multidisciplinares no Século XXI

FIG.06 - Pavilhão de Nova York 1939 - Lucio Costa e Oscar Niemeyer



FONTE: <https://www.archdaily.com.br/br/768101/cobogo>

Antes mesmo do surgimento do ar condicionado, diz Keeler e Burke (2010), decorrem sobre o "excesso de calor que era amenizado com elementos de sombreamento, circulação de ar e em climas secos, com edifícios que eram projetados pensando em brises e ventilação cruzada de forma a solucionar a questão climática de forma sustentável e eficiente".

Os autores seguem descrevendo sobre a arquitetura e a biotecnologia, de onde são desenvolvidos projetos inovadores com inspiração na natureza, essa necessidade do ser humano de buscar se conectar com o meio externo, deu origem ao conceito do biomimetismo e suas atuais aplicações. Ao aplicarmos tais conceitos nos ambientes internos, verificamos projetos capazes de facilitar esse vínculo com o meio ambiente, prevendo a distribuição das aberturas em relação às funções que serão desempenhadas nos espaços, permitindo uma melhor ventilação, iluminação e conforto térmico. Outro ponto a ser analisado é o uso de vegetação, o que acarreta muitos benefícios. Keller e Burke (2010), afirmam que foi feito um estudo para avaliar a capacidade das plantas de extrair contaminantes do ar interno, além de trazer pontos já conhecidos como o bem-estar psicológico e a melhora da qualidade do ar interno, com o uso de plantas. Tem-se uma visão estratégica no uso das paredes vivas em projetos sustentáveis. "Elas beneficiam a qualidade do ar interno de maneira ativa. Algumas tecnologias de paredes vivas incorporam um sistema de tratamento de ar à parede, transformando-a em um sistema de filtragem integrado", destacam.

3. Estudo de Caso

A questão de um urbanismo sustentável a partir de edifícios mais conscientes, vem crescendo a cada ano, sendo estudados e discutidos em congressos e reuniões diplomáticas em todo o mundo. A preocupação com a degradação do meio ambiente e a possibilidade de que os recursos naturais sejam finitos, assustam até as mais altas patentes mundiais, afirma Douglas Farr (2013).

Assim, venho com esse artigo analisar a questão da qualidade, em uma obra cujo projeto foi pensado com base nos conceitos da arquitetura biomimética. Comprovando a alta eficácia das tecnologias apresentadas e estudadas, aplicadas em uma construção em nosso país, com todas dificuldades de uma cidade de clima quente, com temperaturas elevadas em boa parte do ano e que recebe turistas do mundo todo, portanto tendo que se adaptar para fornecer uma boa qualidade de ar interno aos seus diferentes usuários respeitando suas diversidades.

3.1 MUSEU DO AMANHÃ - RJ

Santiago Calatrava, segundo Arruda e Freitas (2018), é um arquiteto com nome bem expressivo na atualidade para a bioarquitetura. Além de arquiteto, Calatrava é engenheiro e apresenta em suas obras uma característica marcante: "a referência à dinâmica dos organismos vivos, principalmente nos esqueletos e na impressão de movimentos que esses conferem às suas edificações, inclusive em suas obras estruturais é possível perceber essa rica imaginação da natureza".

Os autores citam a obra do arquiteto inaugurada no Brasil em 2015, o Museu do Amanhã (figura 07), localizada na cidade do Rio de Janeiro, como referência de arquitetura biomimética no Brasil.

FIGURA 07: Museu Do Amanhã, Santiago Calatrava



FONTE: <https://www.archdaily.com/785442/museum-of-tomorrow-santiago-calatrava/>

(...) O projeto possui um telhado em alavanca com suas grandes “asas” móveis com uma estrutura da fachada que se expande em quase todo o comprimento do cais, enfatizando a extensão para a Baía de Guanabara e minimizando a largura do edifício. Um espelho d’água rodeia o museu por fora e é usado para filtrar a água que está sendo bombeada da baía e liberada de volta no final do píer, o que dá aos visitantes a impressão de que o museu está flutuando, numa analogia a um animal marinho. Antenado com as abordagens sustentáveis da arquitetura vigente, o edifício funciona fazendo uso dos recursos naturais do entorno, como a água que vem da baía, bem como a energia solar coletada através de painéis fotovoltaicos, integrados às “asas” móveis do telhado, que podem se ajustar dinamicamente para o ângulo ideal do sol, alguns recursos que, segundo Calatrava, foram inspirados no mecanismo da fotossíntese. (ARRUDA; FREITAS, 2018, PG.80)

A forma longilínea de sua cobertura, Calatrava disse que se inspirou nas bromélias do Jardim Botânico (figura 08). (ARRUDA E FREITAS, 2018)

FIG. 08: Museu do Amanhã, inspirado em Bromélias do Jardim Botânico



FONTE: Foto Unsplash



FONTE: Ilustração Alicita. Galeria 9.com.br

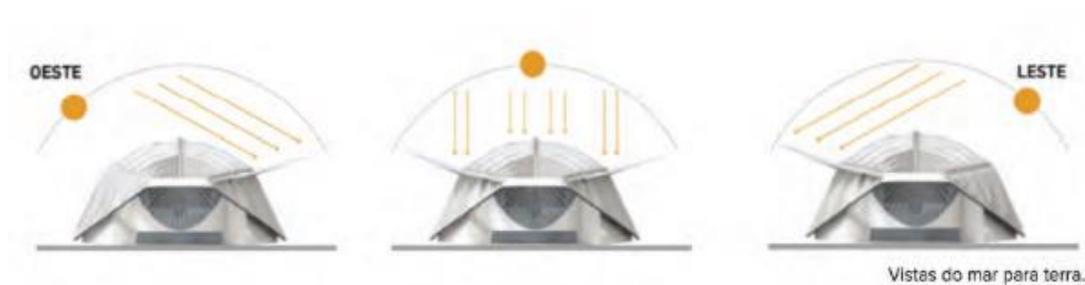
Suas abas se abrem para captar a luz do sol (fig.09), em seu interior, é transformada em energia para iluminar e refrigerar os 15 mil metros quadrados da construção. O projeto também priorizou a entrada de luz e ventilação natural, com base na análise de sua implantação estudo do clima local. (Arruda e Freitas, 2018).

O projeto das aletas, além da potencializar a eficiência na captação solar, com seu movimento ao longo do dia cria ofuscamento com espaços de sombra, o que gera

Estudos em Ciências Humanas e Sociais no Brasil: Produções Multidisciplinares no Século XXI

uma considerável melhora no conforto térmico no ambiente interno da edificação. (Bragança et al., 2019). São 48 grandes estruturas que se movimentam como asas, de acordo com a posição do Sol.

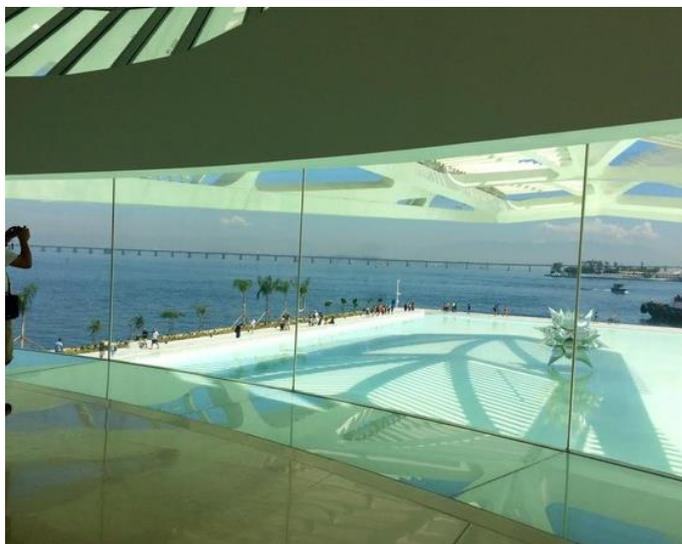
Figura 09 - Movimento das aletas para captação de energia solar, conforme movimento do Sol



FONTE: Ilustração de Mathias Martins, UFRJ, 2016

A construção também conta com grandes espaços abertos (fig.10), projetados para aproveitar ao máximo a iluminação natural, evitando o uso demorado de luz artificial, economizando energia elétrica. (Bragança et al., 2019).

FIGURA 10: Imagem Interna Museu Do Amanhã

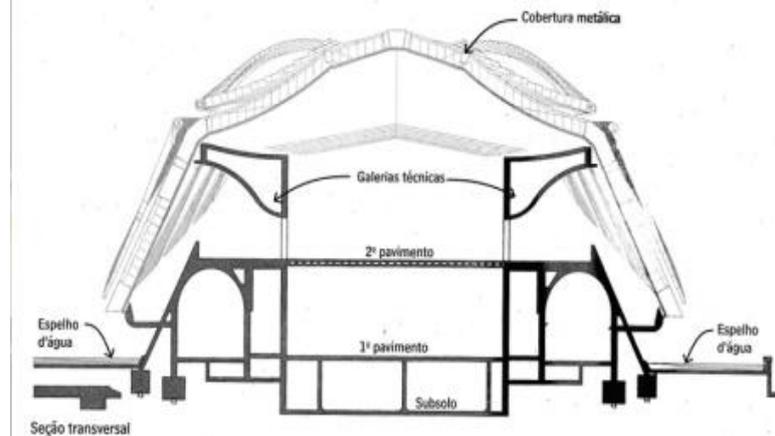


FONTE: FOTO MUSEUS DO RIO

(...) Outro destaque é a cobertura móvel do edifício, em que grandes estruturas de aço servem de base para as placas fotovoltaicas de captação de energia solar.(fig.11) Ao longo do dia, elas se movimentam como asas para acompanhar o posicionamento do sol. O prédio tem aletas que carregam 5.492 placas de painéis fotovoltaicos para captação de energia

solar. As placas, divididas em 24 módulos fixados na cobertura, acompanham o percurso solar (L-O) e produzem 250 KWh/ano, (...). O projeto também valoriza a entrada de luz natural. (SANTOS, 2022, REVISTA ONLINE ENGENHARIA 360, ACESSADO EM JUL.2022)

Figura 11: Corte Transversal Museu do Amanhã – Cobertura metálica



FONTE: Projeto de Mathias Martins , UFRJ, 2016

O Museu do Amanhã foi erguido no píer em meio a uma grande área verde. Tem arquitetura sustentável e segue as especificações para obter a certificação Leed (Liderança em Energia e Projeto Ambiental), concedida pelo Green Building Council. Entre suas diretrizes para sustentabilidade está o melhor aproveitamento de recursos naturais da região, segundo Arruda e Freitas (2018).

Assim, o Museu do Amanhã é visto como uma construção que associa o futuro e a ecologia, inspirado em um organismo vivo, Calatrava coloca a preocupação de um edifício sustentável. Segundo artigo publicado por Calatrava, no Instituto de Arquitetos do Brasil, o museu utilizaria a água da Baía de Guanabara para climatizar o interior do museu, e posteriormente a água seria reutilizada nos espelhos d'água. Houve uma preocupação com a qualidade do ambiente interno para seus usuários, uma notória busca por soluções que amenizassem o clima quente da região fazendo uso dos próprios recursos disponíveis. (Vianna e Sant'Anna, 2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face as atuais questões bioclimáticas, o homem vem buscando novas soluções e formas sustentáveis e econômicas de construir, vendo esse caminho cada dia mais como fundamental. Temos à disposição tecnologias inteligentes que estão aplicadas às principais cidades do mundo como São Paulo e Londres, a importância dessas novas tecnologias reside não só na busca pela melhoria das condições ambientais, mas também por uma constante forma de procurar fornecer um meio com condições mais favoráveis de saúde e bem-estar à população. Neste ambiente de novas tecnologias integradas por sistema digitais e internet, ampliam as possibilidades para os arquitetos e engenheiros aplicarem soluções para novas maneiras de se entender e resolver projetos de grandes edificações. Dentro dessa ampla gama de possibilidades para se fazer a arquitetura, encontramos o estudo da Biomimética como uma opção sustentável a partir da observação e análise da natureza, pois esta após 3,8 bilhões de anos de evolução foi capaz criar estruturas e formas de maneira mais funcional e eficiente.

Se tomarmos como base a teoria da evolução de Darwin, podemos até concluir que apenas os mais evoluídos foram capazes de sobreviver, se adaptando ao meio em que se encontram, então, quanto mais nos espelharmos nas funções da natureza, maior serão as chances de sucesso adaptativo mundial.

A pesquisa trás a questão da qualidade do ar como ponto principal da preocupação de um edifício, em vista dessa problemática, temos a arquitetura biomimética apresentando soluções que atendam a demanda de diferentes climas, construções com diversos usos e usuários com comportamentos distintos. Tais conceitos já estão sendo aplicados não só no Brasil, mas em todo o mundo.

No caso do edifício analisado, o arquiteto Santiago Calatrava, fez uso de uma forma da natureza, junto com o sistema da fotossíntese em que a natureza trabalha junto com o Sol para produzir energia, isso em conjunto com todos os pontos positivos e recursos naturais, fornecidos pelo entorno. O Museu do Amanhã foi escolhido neste trabalho, pelo seu design peculiar e pela origem da inspiração de sua arquitetura tão pouco conhecida que permitiu que o edifício pudesse, não só obter ótimos níveis de eficiência energética, fazendo uso de soluções com melhor aproveitamento de ventilação e iluminação natural, mas também fornecer uma melhor qualidade de ar interno para seus usuários, apresentando características futurísticas tendo como base apenas funções encontradas no próprio meio ambiente em que se encontra.

Conclui-se que o projeto estudado acima é uma das referências de aplicação da Biomimética na arquitetura contemporânea brasileira, e que o tema além de ser multidisciplinar, é capaz de trazer maior consciência a respeito de questões e soluções ambientais. Porém ainda é muito negligenciado e pouco disseminado, necessitando de mais profundidade em pesquisas a fim de gerar conhecimento para profissionais e estudiosos da área.

A arquitetura biomimética, apresenta soluções infinitas de eficiência sustentáveis e por meio da observação de sistemas já existentes em nosso meio ambiente e que são capazes de coexistir entre si e com a biosfera, trazem um olhar mais atento para a forma como encaramos a natureza em si, não apenas como uma fonte de extração de recursos naturais e sim como uma fonte de inesgotável conhecimento onde muitas das perguntas que o homem busca, já estão resolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, Amilton; SOARES, Theska Laila F.. Novas Estratégias da Biomimética: as analogias do Biodesign e na Bioarquitetura. **Mix Sustentável**, Florianópolis, vol.4, n.1, p.73-82, mar-2018.

AVINÇ, Güne Mutlu; SERLÇUK, Semra Arslan; VARSHABI, Niloufar. **Biomimicry for Energy-Efficient Building Design: A Bibliometric Analysis**. MDPI Journal. Suíça, 2022. 7(1), 21; <https://doi.org/10.3390/biomimetics7010021>

AUSTIN, Miguel C., DELGADO, Nicole, GARZOLA, Dagmar, JIMENEZ, Jose U., MORA, Dafni. **Inspection of Biomimicry Approaches as an Alternative to Address Climate-Related Energy Building Challenges: A Framework for Application in Panama**. MDPI. *Biomimetic*. 2020, vol.5(3), pag.40; <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030040>

BENYUS, Janine M. **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**. São Paulo: Ed. Pensamento Cultrix, 1997

BRAGANÇA, Natalia de Sá. BERNAT, Gisele Blak. COSTA, Patricia Oliveira. MENDONÇA, Rafaela de Paiva. **Construções Sustentáveis: Estudo De Caso Museu Do Amanhã**. 30o Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. São Paulo, 2019

BUTERA, Frederico M.; Co-Authors: ADHIKARI, Rajendra; ASTE, Niccolo; **Sustainable Building Design For Tropical Climates - Principles and Applications for Easter Africa**, Nairobi. Un-Habitat For a Better Urban Future, 2014.

Estudos em Ciências Humanas e Sociais no Brasil: Produções Multidisciplinares no Século XXI

DANTON, Gian. **METODOLOGIA CIENTÍFICA**. Minas Gerais. Ed. Virtual Books Online M&M Editores, 2002

DE LUCA, Giovani Simão. SOARES, Camila Guizzo. **A Biomimética Como Inspiração Na Criação De Um Elemento Vazado Para A Melhoria Da Qualidade Do Ar**. Mestrado em Design, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Santa Catarina, 2019.

FRENCH, M. (1994). **Invention and Evolution: Design in Nature and Engineering** (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. 1994.

FREIBERGER, MARIANNE. **PERFECT BUILDINGS: THE MATHS OF MODERN ARCHITECTURE**. SUBMITTED BY PLUSADMIN, LONDON, MAR/ 2007. DISPONIVEL EM: [HTTPS://PLUS.MATHS.ORG/CONTENT/PERFECT-BUILDINGS-MATHS-MODERN-ARCHITECTURE](https://plus.maths.org/content/perfect-buildings-maths-modern-architecture)

GALBRAITH, D. I., DENGLER, N., CAMPBELL, N., Caulderwood, C. E. **Understanding Biology**. Toronto: J. Wiley & Sons Canada, 1989

GONÇALVES, Joana Carla S. DUARTE, Denise Helena S. **Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, vol.6, n.4.pág.51-81, out./dez.2006.

HASKA, Eneida. ERCOŞKUN, Kerem. **Intelligent Facades And Their Association With Biomimicry Architecture: How To Improve Air Quality By Using Smart Building Skins**. Okan University Faculty of Art, Design and Architecture Department, Istanbul Turkey. 2020

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2010.

MUNRO, DOMINIC. **SWISS RE'S BUILDING, LONDON**. REVISTA STÅLBYGGNADS PROJEKT, SUIÇA VOL.3 PAG.36-43. OUT/ 2004.

SÁ, Alice A. M.; VIANA, Dianne Magalhães. **Design e Biomimética: Uma revisão sistemática da Literatura**. Brasília, UNB - 2020.

SÁ, Alice A. M.. **DESIGN, INOVAÇÃO E ESTRATÉGIAS NATURAIS: Aplicações de Princípios Biomiméticos e Biofílicos em Projetos Criativos**. Brasília, Relatório apresentado a Univerdade de Brasilia. 2018.

SANT'ANNA, Sabrina Parrancho. VIANNA, Nathália de Paula B. **Futuro e Passado no Museu do Amanhã**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Artes, Cultura e Linguagens Instituto de Artes e Design, UFJF. v. 7 - n. 1 e 2 agosto, 2018 e 2019 p. 171-194

SOARES, Theska Laila F.. **A Biomimética e a Geodésica de Buckminster Fuller: Uma Estratégia de Biodesign**. Pernambuco, Dissertação de Mestrado UFPE. 2016

TRANSSOLAR.. <https://transsolar.com/approach/climate>

INTERNET

<https://nationalgeographic.pt/natureza/grandes-reportagens/2480-a-natureza-como-fonte-de-inspiracao> - Acessado em maio/2022

<https://www.dw.com/pt-br/arquitetura-sustent%C3%A1vel-inspirada-na-natureza/g-56758163> - Acessado em junho/2022

<https://www.nationalgeographic.pt/natureza/grandes-reportagens/2480-a-natureza-como-fonte-de-inspiracao/amp> - Acessado em julho/2022

<https://medium.com/futuro-exponencial/como-a-biomim%C3%A9tica-pode-resolver-os-problemas-globais-db808591a8b3> - Acessado em dezembro/2022

Revista DESIGN & COMPLEXIDADE Biônica e Biomimética no contexto da complexidade e sustentabilidade em projeto, paginas - 126-140 SET.2014
Disponível em – (<https://www.mobusconstrucao.com.br/blog/biomimetica/>), Acessado em dezembro 2022.