

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Pedro Vinícius da Silva de Oliveira

**BIOMIMÉTICA APLICADA COMO UM CONCEITO NA ÁREA DE
CONSTRUÇÃO**

Santa Maria, RS

2019

Pedro Vinícius da Silva de Oliveira

BIOMIMÉTICA APLICADA COMO UM CONCEITO NA ÁREA DE CONSTRUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. ° Dr. ° Marcos Oss Vaghetti

Santa Maria, RS
2019

Pedro Vinícius da Silva de Oliveira

BIOMIMÉTICA APLICADA COMO UM CONCEITO NA ÁREA DE CONSTRUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Civil**.

Aprovado em 12 de Dezembro de 2019:

Marcos Oss Vaghetti, Prof. Dr. (UFSM)
(Orientador)

Carlos José Antônio Kümmel Félix, Prof. Dr. (UFSM)

Anna Clara Franzen De Nardin, Eng.

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer imensamente a minha mãe Carla e minha avó Maria que fizeram parte desta longa trajetória da minha vida, me auxiliaram, me orientaram e sempre deram forças e amor suficientes para que eu sempre acreditasse que é possível alcançar todos os meus sonhos e objetivos, mesmo diante das maiores adversidades. A vocês meu eterno agradecimento e muito obrigado!

Agradeço ao meu tio Francis e minha prima Grazi que sempre estiveram presentes em todos os momentos mais importantes da minha vida e fizeram muita diferença nesta etapa da minha vida, me assessorando em diversas situações. A vocês o meu eterno obrigado!

Minha mais sincera gratidão a todos da minha família, por sempre estarem ao meu lado me fornecendo conhecimento, me apoiando e sendo meu porto seguro.

A todos os meus amigos, em especial minhas amigas Fernanda, Natália e Valentina que desde criança estão comigo em todos os momentos, sejam eles ruins ou bons, sempre estão ao meu lado me dando forças e tendo uma enorme paciência comigo, principalmente nesta etapa. Obrigado pelo apoio sempre!

Aos meus amigos do intercâmbio que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento pessoal e também estiveram comigo nesta etapa final da conclusão de minha graduação.

A todos os amigos da faculdade que sempre me ajudaram com provas, trabalhos, pelo companheirismo, conversas e risadas. A todos agradeço pelos momentos únicos e incríveis que me propiciaram e com certeza sentirei muita falta!

Aos meus colegas, amigos e mentores da empresa Simultânea Engenharia que acreditaram em meu potencial, me forneceram conhecimento e aprendizado para seguir em frente.

Ao meu orientador, Marcos Alberto Oss Vaghetti, que aceitou me guiar na execução deste trabalho e por fazer com que a realização deste fosse possível.

Ao meu coordenador do grupo GeMob, Carlos José Antônio Kümmel Félix, que me auxiliou, me deu conselhos e me fez acreditar que a universidade vai muito além de provas, trabalhos e estresse; fornecendo-me a possibilidade de encontrar um grupo que pude participar, mostrando meu potencial e com certeza ajudou muito para o meu crescimento. Obrigado professor, obrigado GeMob e a todos que fazem parte deste grupo por todos esses anos incríveis que me forneceram!

Agradeço à banca examinadora pela leitura e sabedoria que acrescentaram neste trabalho; e a todos os outros que, de alguma forma, estão representados aqui e me forneceram conhecimento para a conclusão deste trabalho.

Meu profundo agradecimento à Universidade Federal de Santa Maria e a todos os seus servidores, que de alguma forma contribuíram para a minha trajetória durante a graduação. Obrigado UFSM por proporcionar um ensino gratuito e de qualidade, viabilizar oportunidades e realizar sonhos. Esforços para que esta instituição continue tendo ensino de qualidade auxiliando a todos que necessitam e desejam estar dentro de uma universidade federal.

Finalmente, gostaria de dizer que sou grato a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão da minha graduação e para a realização deste trabalho. Gostaria que soubessem que, se fosse possível, citaria todos os nomes das pessoas que nesta trajetória foram generosas, companheiras, sejam professores, amigos ou familiares, que ajudaram no meu aprendizado, crescimento, coragem e inspiração.

*“Os cientistas estudam o mundo como ele é.
Os engenheiros criam um mundo como ele
nunca havia sido”.*

(Theodore Von Kármán)

RESUMO

BIOMIMÉTICA APLICADA COMO UM CONCEITO NA ÁREA DE CONSTRUÇÃO

AUTOR: Pedro Vinícius da Silva de Oliveira

ORIENTADOR: Marcos Oss Vagheti

Devido à necessidade de resolver problemáticas por conta do crescimento populacional e por padrões inadequados de produção, os seres humanos tentam encontrar na natureza soluções sustentáveis para gerar uma sociedade que lhe permita viver com mais conforto e bem estar, surgindo desta forma, o conceito biomimética que busca modelos presentes no meio natural para arquitetar e aperfeiçoar uma gama de tecnologias a partir de sistemas biológicos. No âmbito da engenharia diversas edificações e outras estruturas têm sido concebidas com base em modelos naturais, protagonizando o desenvolvimento deste novo ramo da ciência sustentável, as quais se beneficiam com aparências estéticas totalmente inovadoras, criadas a partir do que se observa na natureza como árvores, teias de aranha, estrutura de corpos humanos e animais. Com isso, o trabalho em questão delimita-se quanto ao uso da biomimética como ferramenta para geração de alternativas que não degradem o ambiente, fazendo a análise de aspectos econômicos, resistências dos materiais e vantagens de utilizar esta ciência para aprimorar as edificações. O mesmo foi realizado a partir da busca de instrumentos que estão inseridos nos conceitos da biomimética e suas devidas aplicações, exibindo dados obtidos de projetos que em seu método construtivo, empregaram o uso dos conceitos de biomimetismo. Para estudos mais aprofundados, foram utilizadas duas edificações como base, uma localizada em Melbourne, Austrália e outra em Harare, Zimbabué, mostrando a aplicação desse feito em prol do meio ambiente e elo da natureza com as obras da engenharia moderna.

Palavras-chave: Biomimética. Impactos Ambientais. Construções Sustentáveis. Natureza. Emular. Ethos. Reconectar.

RESUMEN

BIOMIMÉTICA APLICADA COMO CONCEPTO EN LA ÁREA DE CONSTRUCCIÓN

AUTOR: Pedro Vinícius da Silva de Oliveira

GUÍA: Marcos Oss Vaghetti

Debido a la necesidad de resolver problemas debido al crecimiento de la población y los patrones de producción inadecuados, los seres humanos intentamos encontrar soluciones sostenibles en la naturaleza para generar una sociedad que les permita vivir más cómodamente y en bienestar, surgiendo así el concepto biomimético que busca modelos de lo salvaje a arquitecto y perfecciona una gama de tecnologías de sistemas biológicos. En ingeniería, varios edificios y otras estructuras se han diseñado en base a modelos naturales, liderando el desarrollo de esta nueva rama de la ciencia sostenible, que se beneficia de aspectos estéticos totalmente innovadores, creados a partir de lo que se observa en la naturaleza como árboles, telarañas, estructura de cuerpos humanos y animales. Por lo tanto, el trabajo en cuestión se limita al uso de la biomimética como herramienta para generar alternativas que no degraden el medio ambiente, haciendo el análisis de los aspectos económicos, la resistencia de los materiales y las ventajas de utilizar esta ciencia para mejorar los edificios. Lo mismo se hizo a partir de la búsqueda de instrumentos que se insertan en los conceptos de biomimética y sus aplicaciones adecuadas, mostrando datos obtenidos de proyectos que en su método constructivo emplearon el uso de los conceptos de biomimética. Para su posterior estudio, se utilizaron dos edificios como base, uno ubicado en Melbourne, Australia y otro en Harare, Zimbabwe, que muestran la aplicación de esta hazaña para el medio ambiente y el vínculo de la naturaleza con las obras de ingeniería moderna.

Palabras – clave: Biomimética. Impactos Ambientales. Construcciones Sustentables. Naturaleza. Emular. Ethos. Reconectar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Animais que utilizam a biomimética como técnica de camuflagem. _____	19
Figura 2 - Elementos Primordiais da Biomimética. _____	19
Figura 3 – Método do Pensamento Biomimético. _____	23
Figura 4 - Impactos Ambientais da Cadeia da Construção Civil. _____	26
Figura 5 - Os sistemas vivos obedecem a ciclos. _____	28
Figura 6 - Os sistemas da Era Industrial. _____	28
Figura 7 - Como a indústria pode reduzir o lixo imitando a natureza. _____	29
Figura 8 - Dimensões da Sustentabilidade. _____	33
Figura 9 - Vidro Ornilux. _____	35
Figura 10 - Similaridade entre os tendões do corpo humano e os cabos de uma ponte suspensa. _____	36
Figura 11 - Camadas de Proteína do Nácar. _____	37
Figura 12 - Estrutura de um fio de seda. _____	38
Figura 13 - Analogia entre o voo dos pássaros e aeronaves. _____	39
Figura 14 - Similaridade entre o Fêmur e a Torre Eiffel. _____	40
Figura 15 - Estádio Olímpico de Pequim: Ninho de Pássaro. _____	42
Figura 16 - Similaridade entre o pássaro Martim-Pescador e o Trem-Bala de Nakatsu. ____	43
Figura 17 - Representação do projeto do Votu Hotel na Bahia. _____	43
Figura 18 - Esquema de ventilação seguindo o modelo do habitat do animal Cão de Pradaria. _____	44
Figura 19 - Parte interna da estrutura mostrando o modelo de paredes executadas. _____	45
Figura 20 - Modelo estrutural executado na cozinha com semelhança ao um bico de tucano. _____	45
Figura 21 - Padrão do fechamento estrutural inspirados na capacidade de sombreamento de cactos. _____	46
Figura 22 - O que procura-se responder com o trabalho realizado? _____	47
Figura 23 - Edifício Council House 2, Melbourne, Austrália. _____	49
Figura 24 - Os painéis de controle solar na fachada norte do edifício. _____	50
Figura 25 - Esquema de distribuição de água do CH2. _____	52
Figura 26 - Turbinas verticais reguladoras de temperatura. _____	53
Figura 27 – Vegetação presente na fachada norte do CH2. _____	54
Figura 28 - Satisfação dos ocupantes segundo pesquisas realizadas. _____	55
Figura 29 - Eastgate Building localizado em Harare, capital do Zimbábue. _____	57
Figura 30 - Localização de passarelas, pontes e escadas na parte interna do Eastgate. ____	57
Figura 31 - Princípio de ventilação do cupinzeiro. _____	58
Figura 32 - Sistema de ventilação do Eastgate Building. _____	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Algumas definições para o conceito de impacto ambiental. _____	27
Quadro 2 - Selos de certificação ambiental para construções sustentáveis. _____	31
Quadro 3- Resumos das classificações com base em medições físicas. _____	55

LISTA DE ABREVIATURAS

AQUA	<i>Alta Qualidade Ambiental</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>
CONAMA	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
CO2	<i>Dióxido de Carbono</i>
CH2	<i>Council House 2</i>
CSI	<i>Cement Sustainable Initiative</i>
DGBN	<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i>
GBC - A	<i>Green Building Council of Austrália</i>
GBCI	<i>Green Building Council Institute</i>
HQE	<i>Haute Qualité Environmentale</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NABERS	<i>National Australian Built Environment Rating System</i>
NBR	<i>Norma Brasileira</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
PROCEL EDIFICA	<i>Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações</i>
RCC	<i>Resíduos da Construção Civil</i>
SCACS	<i>Selo Casa Azul de Construção Sustentável</i>
SQC	<i>Science Creative Quarterly</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	OBJETIVOS	14
1.1.1.	Objetivo Geral.....	14
1.1.2.	Objetivos Específicos	14
1.2.	JUSTIFICATIVA	15
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2.	BIOMIMÉTICA	17
2.1.	ORIGEM E CONCEITO	17
2.2.	FUNDAMENTOS BÁSICOS DA BIOMIMÉTICA	19
2.2.1.	Ethos.....	20
2.2.2.	Reconectar	20
2.2.3.	Emular	21
2.3.	PENSAMENTO BIOMIMÉTICO	21
3.	ENGENHARIA LIGADA A BIOMIMÉTICA	24
3.1.	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	24
3.2.	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	30
3.3.	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO INSPIRADOS PELA NATUREZA	34
3.4.	APLICAÇÕES DA BIOMIMÉTICA	38
3.4.1.	Torre Eiffel	40
3.4.2.	Estádio Olímpico de Pequim – Ninho de Pássaro.....	41
3.4.3.	Trem - Bala em Shikansen no Japão.....	42
3.4.4.	Votu Hotel – Obra Biomimética Brasileira	43
4.	METODOLOGIA	47
5.	APRESENTAÇÃO DE ESTUDOS DE CASO	49
5.1.	COUNCIL HOUSE 2, MELBOURNE: ESTUDO DE CASO 1.....	49
5.2.	EASTGATE BUILDING, HARARE: ESTUDO DE CASO 2	56
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
7.	REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes para a sociedade, não somente pelo fator econômico a que está ligado este termo, mas também pela infraestrutura que é capaz de criar. Com essa atividade, muitos recursos naturais são consumidos para a produção de materiais para as obras, causando modificações no solo, nas áreas de vegetação e na incidência de sol, na utilização de água e energia, entre outros, gerando impactos importantes ao meio.

Devido à necessidade de reduzir os problemas causados pelo impacto da indústria no meio em que vivemos, nasceu o termo construção sustentável, que envolve atividades e técnicas mais apropriadas, vantajosas e que não causem tantas ações degradantes, através do uso de materiais e processos construtivos que harmonizem a relação entre o homem e o meio ambiente. Essas construções fomentam a qualidade ao criar o ambiente construído, segundo Côrrea (2009). Este modo de construir é reconhecido pelo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) como uma forma de estabelecer estratégias e padrões para a criação de construções sustentáveis certificadas pelo GBCI (*Green Building Council Institute*), sendo o Green Building, qualquer edificação ou espaço construído cujo projeto é voltado para a sustentabilidade social, ambiental e econômica, desde a sua concepção, construção e durante a toda a sua operação.

Neste cenário, surge à ideia de aplicação do conceito da ciência denominado biomimética, a qual busca a criação de soluções sustentáveis para os problemas atuais que a humanidade enfrenta através da inspiração na natureza, assim como a sintaxe da palavra (do grego bios = vida, mimésis = imitação). O objetivo da biomimética não é replicar apenas as formas, mas compreender o funcionamento dos organismos e como eles se mantêm, analisando pontos positivos que possam contribuir para o processo criativo do projeto, com inspiração em padrões geométricos e matemáticos presentes nas formas orgânicas. É muito importante destacar, que a biomimética utiliza a natureza apenas como fonte de inspiração, ou seja, apenas consultando-a, mas não fazendo a sua domesticação, reforçando assim, a ideia de sustentabilidade (BENYUS, 1997). As soluções propostas por Benyus (1997) são embasadas na tríade: natureza como modelo, medida e mentora, cujos conceitos estão descritos abaixo:

- **Natureza como Modelo:** Inspiração e mimese (imitação) nas soluções da natureza para aplicações práticas.
- **Natureza como Medida:** Usa o padrão ecológico como parâmetro para as inovações.

- **Natureza como Mentora:** Representa uma nova forma de observar e reconhecer o poder que está presente na natureza, inaugurando uma base de pensamentos onde a importância se dá pelo que podemos aprender com o meio natural presente ao nosso redor e não em degradá-lo.

Para arquitetos e engenheiros do mundo inteiro, interessados em desenvolver novas técnicas que tornem as construções mais eficientes em termos estéticos e energéticos, e também inteligentes e funcionais, a biomimética tem se tornado um produtivo campo de inspiração.

Este trabalho pretende apresentar uma abordagem da biomimética aplicada como um conceito na área de construção, através de um estudo das obras sustentáveis que fazem uso desta ciência.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica sobre o campo do biomimetismo, ciência recente que se encontra em expansão, referir alguns aspectos relativos para compreensão desta ciência e avaliar a aplicação desse conceito para auxiliar na obtenção de um método construtivo sustentável.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os princípios fundamentais para a concepção do que é a biomimética;
- Discorrer sobre quais ferramentas são necessárias para conseguir bons resultados através da biomimética;
- Evidenciar casos práticos de aplicação dos princípios biomiméticos na área de construção e identificar os seus resultados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho está vinculado à importância de estudar novos temas que se encontram dentro do conceito de sustentabilidade, como é o caso do tema abordado biomimética, para que se possa obter o conhecimento do que a natureza oferece como um incentivo para a tecnologia aplicada no ramo de construção.

A cada dia que passa, nosso planeta sofre com o desperdício global e com a má distribuição de resíduos, segundo Agopyan (2013) a construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta. Devido a isso, busca-se por novas soluções na construção civil, que harmonize as necessidades humanas e do meio natural, para que se possa criar um cenário em que a natureza não sofra pelos com os maus tratos do ser humano. Larkin (2013) afirma que natureza e negócios são interdependentes e essenciais para o bem-estar humano.

Entender as origens dos problemas energéticos e se posicionar frente às suas consequências, pode ser um ponto chave para a construção de um mundo mais sustentável. De Nardin (2019). Seiffert (2010) afirma que o desenvolvimento sustentável é constituído na utilização de um padrão de desenvolvimento que possibilite, a partir das necessidades humanas, uma satisfação duradoura preocupada com a qualidade de vida. Wackernagel e Rees (1996), por sua vez, abordam a questão da relação da sociedade com o meio ambiente.

Benyus (2006) lamenta o fato de que muitos engenheiros não tenham interesse nas ciências da vida, e de que muitos biólogos demonstrem achar entediante tudo o que envolve a mecânica, e ressalta que:

“[...] a única maneira de conseguirmos fazer com que os modelos da natureza sejam realmente considerados de fato é colocando biólogos e engenheiros nas mesmas equipes de trabalho”.

A escolha por este tema, portanto, se justifica pelo aumento de problemas causados pelo ramo da construção ao meio ambiente, buscando desta forma, o estudo de como os profissionais de engenharia, arquitetura e outras áreas podem utilizar da ciência biomimética para desenvolverem novos materiais e construções que se conectem com o meio sem degradá-lo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos que estão descritos abaixo:

O capítulo 1 consiste na apresentação deste trabalho, onde foi iniciada a abordagem ao tema e sua importância, a justificativa da escolha, contextualizando os assuntos abordados na pesquisa, assim como o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica de pesquisas acerca do tema abordado, para sua melhor compreensão. Neste capítulo são apresentados os conceitos de sustentabilidade, materiais sustentáveis e biomimética, abordando as obras arquitetônicas que utilizam desta ciência, junto de suas viabilidades.

O capítulo 3 refere-se às aplicações da biomimética. Neste capítulo são apresentadas algumas obras ao redor do mundo que foram construídas espelhando-se ao meio natural.

O capítulo 4 apresenta a metodologia do trabalho em questão, sendo esta a explicação da compreensão e entendimento do tema em questão, que exemplifica o tipo de pesquisa, as fontes para coletas de informações e a divisão de toda ação realizada no trabalho.

O capítulo 5 apresenta o estudo de caso de duas obras que foram selecionadas para se que possa analisar a viabilidade do biomimetismo e as soluções técnicas que essa ciência fornece as estruturas.

O capítulo 6 evidencia as considerações finais e elencadas sugestões para trabalhos futuros. Na sequência, no capítulo 7, são apresentadas as referências bibliográficas as quais foram utilizadas como base para elaboração deste trabalho.

2 BIOMIMÉTICA

A sutileza humana ... nunca criará um invenção mais bonita, mais simples ou mais direta do que a natureza, porque em suas invenções não falta nada, e nada é supérfluo.

Leonardo da Vinci.

2.1 ORIGEM E CONCEITO

Desde primórdios até os tempos atuais, a relação de inspiração entre a natureza e o homem para se gerar soluções está presente no nosso cotidiano. O homem tende a imitar a natureza com o objetivo de solucionar as diversas contrariedades provenientes do mundo ao seu redor. Ao longo do seu desenvolvimento, desde a utilização das peles dos animais como proteção do seu corpo até ao atual desenvolvimento tecnológico e científico, a natureza tem oferecido uma vasta gama de modelos naturais como fonte de inspiração para o desenvolvimento de novas soluções sustentáveis (BENYUS, 2002).

A humanidade, durante toda a sua evolução, empregou diversas palavras para descrever o uso específico da natureza como parâmetro de incentivo. Desde a década de 60, o processo de copiar ou retirar ideias do mundo natural era designado por Biônica. O termo Biônica (*Bionics*) surgiu como o primeiro conceito para descrever a inspiração utilizando do ambiente natural. Bar-Cohen (2011), ressalta que o termo foi aplicado por Jack Steele, major da Força Aérea americana, em 1960, para se referir à integração entre a biologia e a engenharia, a fim de descobrir como a natureza poderia solucionar problemas, com o intuito de transmitir essas soluções à produção de artefatos pelo homem.

Após quase uma década, de muitos estudos e pesquisas realizadas, surgiu o termo biomimética, em inglês (*Biomimetics*), em substituição ao usual termo biônica. O termo foi difundido por Otto Schmitt, em 1969, no título de um artigo que designava uma nova ciência cujo objetivo era estudar, observar e emular os métodos, sistemas e processos da natureza. A concepção da biomimética por Schmitt foi fruto de sua pesquisa de doutorado, quando, em 1957, o cientista tentava desenvolver um dispositivo físico capaz de imitar o comportamento de um nervo, segundo Vincent (2006). No princípio de sua pesquisa, Schmitt situava seu trabalho em uma área ainda pouco explorada. Sendo assim, somente 12 anos depois o termo biomimética foi de fato publicado pela escritora Janine Benyus com o livro intitulado

Biomimicry: Innovation Inspired by Nature, em português *Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza*, o qual mostrava os conceitos fundamentais da biomimética.

Os termos Biomimética e Biônica têm sido utilizados na literatura sem distinção. Em uma abordagem semelhante, encontra-se o termo Bioinspiração (*Bioinspiration*), também aplicado quando os fenômenos e aspectos da natureza servem de inspiração para o desenvolvimento de artefatos ou tecnologias pelo homem, de acordo com Biggins (2011).

Na Biomimética ou Biomimetismo, estimula-se a alteração do pensamento humano em relação ao meio natural de não retirar e apropriar-se dos diversos recursos presentes na natureza, mas sim usá-los com o objetivo de aprender com eles, utilizando um padrão ecológico para julgar a sustentabilidade das invenções. Trata-se da aplicabilidade desses elementos e conceitos em diversos campos através de uma análise completa dos atributos desenvolvidos pelos seres vivos que, ao longo do processo evolutivo, demonstraram maior desempenho em relação à seleção natural.

Para Geada (2006, pág.22):

“A biomimética visa o estudo da natureza no sentido de aprender com ela (e não sobre ela) e utilizar esse conhecimento em diferentes domínios da ciência. Proveniente do grego “bios”, que significa vida, e “mimesis”, que significa imitação, a biomimética baseia-se no estudo de sistemas biológicos para desenvolver ou aperfeiçoar novas soluções de engenharia, já que os problemas por eles enfrentados são similares, em muitos aspectos, aos encontrados em sistemas de engenharia. Os biomimeticistas encontram na natureza um modelo perfeito de imitação, de inspiração, pois ela tem muito para nos ensinar, tem muitas respostas às nossas questões. É nesse âmbito, da imitação e inspiração nos modelos e processos da natureza, que os biomimeticistas procuram respostas com vista a solucionar os seus problemas [...]”

Segundo Benyus (2007), a biomimética é um termo respectivamente novo. Em seu livro, Benyus afirma que o homem sempre se inspirou nas ricas ideias fornecidas pela natureza e que a imitação da mesma permite desenvolver um grande número de domínios. Como exemplos, ela cita a característica térmica dos montes de térmitas, que em termos de eficiência energética é muito superior aos edifícios construídos pelo homem, a transmissão de alta frequência dos morcegos, que é muito mais eficiente e sensível do que os sistemas de radar criados pelos humanos, os longos períodos de submersão das baleias e dos pinguins sem emergirem, a facilidade de manobra das libélulas que é superior à dos melhores helicópteros. Estes são apenas alguns exemplos de mecanismos naturais que criam grande excitação e têm o potencial de enriquecer várias áreas da tecnologia.

Outra forma de uso do termo biomimética, por curiosidade, também se refere à característica de certas espécies de animais de poderem se camuflar, imitando outras

linhagens presentes no meio natural para disfarçarem sua presença e assim, se protegerem de predadores, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Animais que utilizam a biomimética como técnica de camuflagem.

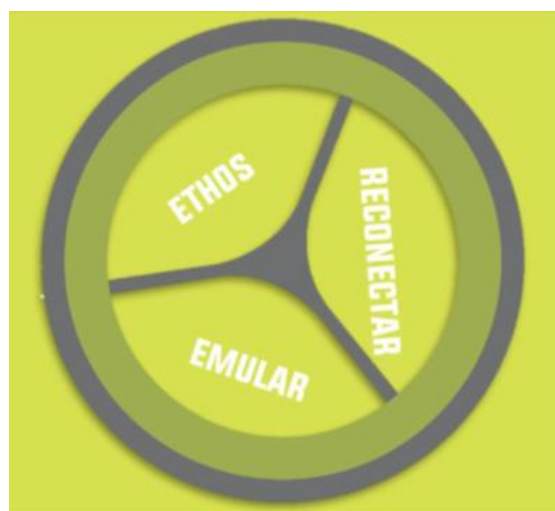


Fonte: A BIOMIMÉTICA E A GEODÉSICA DE BUCKMINSTER FULLER: Uma Estratégia de Biodesign (p. 27, 2016).

2.2 FUNDAMENTOS BÁSICOS DA BIOMIMÉTICA

Baumeister (2013) afirma que a prática da biomimética incorpora três elementos únicos e interconectados, como mostrado na figura 2:

Figura 2 - Elementos Primordiais da Biomimética.



Fonte: Apostila Biomimética (2018).

Estes elementos descrevem diferentes formas com que uma pessoa pode usar a biomimética em sua realidade. Para os que seguem a biomimética há anos, contudo, é difícil imaginar a prática sem os três elementos juntos (BAUMEISTER, 2013).

O pensamento biomimético, ao qual está ligado esses 3 elementos primordiais da biomimética. O mesmo permite encontrar soluções para os desafios industriais e humanos com base nas soluções da natureza. Baumeister (2013) ressalta que o método biomimético considera não somente o usuário final e o uso final da solução encontrada, mas também como o projeto funcionará no tempo e no espaço. Tal perspectiva ajuda a conceber como a solução se encaixa no largo escopo da vida.

2.2.1. Ethos

Elemento sobre a essência, ética, intenções e filosofia do por que e como praticar a biomimética. Na forma mais simples, pode ser definido como o desejo de se encaixar no planeta, representando o respeito, a gratidão e a responsabilidade em relação às espécies e ao mundo (BAUMEISTER, 2013).

Um exemplo de aplicação do ethos é pensar sobre a realização de um projeto e sua viabilidade, sobre o porquê da sua criação, e sobre a importância e o impacto que esse produto vai ter no mundo.

Se o produto já existe, deve-se questionar se pode ser melhorado e otimizado, como sua produção acontece e como podemos torná-la, caso não seja, mais sustentável com o uso de materiais adequados que sejam amigos do meio natural.

Baumeister (2013) afirma que através do ethos, a humanidade chegará a soluções que criam condições que permitem a prosperação da vida. Esse elemento age como um guia, capaz de criar oportunidades de escolha sobre onde, como e quando a prática da biomimética ocorre.

2.2.2. Reconectar

Reconectar é a alma biomimética, é sobre aprender a enxergar com lentes, reconhecer e entender que não existe nós e eles quando se trata de pessoas e elementos da natureza. Todas as espécies são natureza, o que inclui a espécie humana. Apenas reconectando com a natureza, somos capazes de aprender com ela, ou seja, aprender com a genialidade dos seus processos, formas e sistemas.

De acordo com Baumeister (2013), a vida é resultado de 3,85 bilhões de anos de evolução, tempo que revela a sabedoria com a qual os humanos podem aprender e na qual devem se inspirar. Dessa forma, conectar-se significa descobrir a inteligência da natureza e começar a explorar a biologia inerente à prática da biomimética. Com isso, os laços entre as espécies são estreitados e as habilidades humanas de observar a natureza e de aprender com ela são reforçadas.

2.2.3. Emular

Compreendendo as etapas ethos, reconectar com a natureza e sua sabedoria, chega-se à etapa emular. A palavra “emular” que representa a tentativa de simulação do modo como algo funciona, é o terceiro elemento essencial da biomimética, representa a intenção de continuar no planeta de forma apropriada, tendo a natureza como modelo, medida e mentora.

Emular diz respeito à resolução de problemas por meio da bioinspiração, que, conseqüentemente, minimiza os impactos negativos ao planeta. O elemento emular é a ação da biomimética, engloba princípios, padrões e estratégias encontrados na natureza para criar e inovar. O termo está diretamente relacionado à prática e à utilização do método de pensamento biomimético (BAUMEISTER, 2013).

2.3 PENSAMENTO BIOMIMÉTICO

O pensamento biomimético permite encontrar soluções para os desafios industriais e humanos com base nas soluções da natureza. Baumeister (2013) ressalta que o método biomimético considera não somente o usuário final e o uso final da solução encontrada, mas também como o projeto funcionará no tempo e no espaço. Tal perspectiva ajuda a conceber como a solução se encaixa no largo escopo da vida.

Gruber (2013) ressalta um importante motivo para que essas ideias sejam inseridas de forma estratégica no projeto por meio da natureza: a biomimética é uma ciência transdisciplinar, que permite a ligação, ou seja, a comunicação entre diversas áreas da tecnologia, para que se possam obter novos resultados sustentáveis.

Baumeister (2013) mostra que há quatro esferas em que a biomimética contribui de forma mais eficaz no desenvolvimento de um projeto: o escopo, o descobrir, o criar e o avaliar. Estas são as macroetapas do pensamento biomimético. A seguir, tais etapas são explicadas individualmente.

O escopo se refere à preparação, é quando ocorre a identificação do problema. Nessa fase, são analisados o contexto, os critérios e as limitações. O escopo inclui etapas como identificar o verdadeiro desafio, definir os parâmetros de operação e criar um resumo ou programa para o projeto. De forma geral, o escopo ocorre antes da definição do projeto e contempla o trabalho preparatório para determinar os desafios do projeto, coletar e analisar os fatos, delimitar os objetivos e harmonizar a convivência e a colaboração do time do projeto. Além disso, o escopo designa a visão do projeto, oportunizando as partes interessadas que se unam em prol de uma mesma aspiração, com foco nas prioridades e na definição de padrões de desempenho (BAUMEISTER, 2013).

O descobrir acontece após o desafio/oportunidade de projeto estar definido. Essa fase inclui pesquisa e exploração de projetos tangenciais que possam fornecer conteúdo à fase de criação, como brainstorming. Nessa fase, as inspirações não têm limites. A pesquisa inclui trabalho de campo, artigos, livros, internet e outros estudos relacionados ao tema (BAUMEISTER, 2013).

O criar é o momento em que o projeto acontece, quando se apresenta um novo produto, processo ou sistema. Diz respeito a criar algo novo, reprojeter algo, fazer ou inventar. A fase de ideação do criar envolve, tradicionalmente, uma combinação entre o explorar resoluções de problemas parecidos e o efetuar brainstorming de novas soluções (BAUMEISTER, 2013).

O avaliar ocorre quando um produto, processo, solução ou oportunidade já foi identificado. Nessa fase, são analisadas a apropriação e a viabilidade em longo prazo e dentro de um determinado contexto. Nessa fase também são considerados os limites e as fronteiras. Realiza-se, ainda, uma reflexão quanto às intenções e aos objetivos originais, além de uma análise para garantir que a qualidade e a segurança do projeto foram alcançadas. Geralmente é necessário revisitar as outras fases para abordar e tratar os gaps ou as inadequações na solução ou oportunidade encontrada (BAUMEISTER, 2013).

Na Figura 3, essas etapas aparecem de forma clara mostrando como o pensamento biomimético pode auxiliar no desenvolvimento, na criação de um novo projeto.

Figura 3 - Método do Pensamento Biomimético.



Fonte: Adaptada de Baumeister (2013).

3 ENGENHARIA LIGADA A BIOMIMÉTICA

3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

A construção civil é uma das principais responsáveis pelos impactos ambientais, por isso, torna-se necessária a elaboração de soluções por parte de engenheiros civis, entre outros profissionais, em projetos que visem por uma maior sustentabilidade às edificações. Através da vasta gama de recursos naturais disponíveis, é possível encontrar diversas alternativas a serem avaliadas pela engenharia de materiais que consiste em criar novos materiais ou aperfeiçoar os já existentes a níveis micro e macroestrutural, e aplicá-los em diferentes áreas tecnológicas.

Neste âmbito, surge à aplicação do conhecimento da biomimética aprimorando a construção de edificações, com o propósito de torná-las inovadoras e ecologicamente corretas. O conceito de biomimetismo tem trazido grandes benefícios em diversas áreas tecnológicas e científicas como, por exemplo, em áreas de biologia, design, medicina, arquitetura e engenharias desde aeroespacial até mecânica. Existe uma grande variedade de estruturas naturais que têm sido facilmente transmitidas para as estruturas efetuadas pelo homem com o auxílio da tecnologia avançada existente nos dias de hoje. No campo da engenharia, a biomimética carrega consigo inúmeras vantagens, pois através de recursos naturais, dos quais a mesma se baseia, surgem diversos projetos que utilizam a mínima quantidade de recursos possível.

Como sabemos, o setor da construção tem papel fundamental no desenvolvimento de um país, tornando-se peça chave para o atendimento dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. É considerado um importante segmento da indústria, exercendo um grande peso na economia mundial e sendo um indicativo de crescimento econômico e social. Devido às suas grandes proporções, a indústria da construção civil emprega grande quantidade de trabalhadores, é responsável por grande parcela da formação bruta de capital e movimenta ativamente a economia.

Isoldi (2012) ressalta que o desenvolvimento da civilização baseado no uso de combustíveis fósseis e exploração desordenada do ambiente natural, deixando de lado as fontes de energia renováveis, a luz natural e as técnicas passivas de construção, enquadram a construção civil em uma das atividades menos sustentáveis do planeta.

A indústria da construção civil influencia o ecossistema podendo alterá-lo drasticamente, podendo inclusive provocar sua extinção, por meio de inundação de grandes

áreas, corte de vegetações, impermeabilização do solo e a sua fase de construção que acaba gerando ruídos, resíduos, e outros (PINTO, 1999; JOHN, AGOPYAN, 2000; AZEVEDO et al., 2006). Os impactos, além de ambientais, também influenciam o meio social, econômico e visual. A construção pode tanto valorizar como desvalorizar uma área, mediante poluição visual, sonora, sombreamento de área que necessita de insolação, falta de vegetação para ajudar na ventilação, entre outros (EDWARDS, 2004; SENAI, 2007; LACHIMPADI et al., 2012). Taipale (2012) estima que cerca de um terço do consumo de todos os recursos naturais despendidos no mundo é de responsabilidade da construção civil.

A biomimética surge com o objetivo de encontrar na natureza uma solução necessária para os problemas reais causados pelo homem neste campo construtivo, cuja pertinência de conceitos relacionados propõem reflexões sobre mudanças e respostas para necessidades específicas, o que gera novas perspectivas que, apesar de não nos tornarem tecnologicamente mais avançados, nos permitem ter uma percepção visual de objetos com um viés mais sustentável e implantar na sociedade uma responsabilidade com relação ao futuro do nosso meio ambiente.

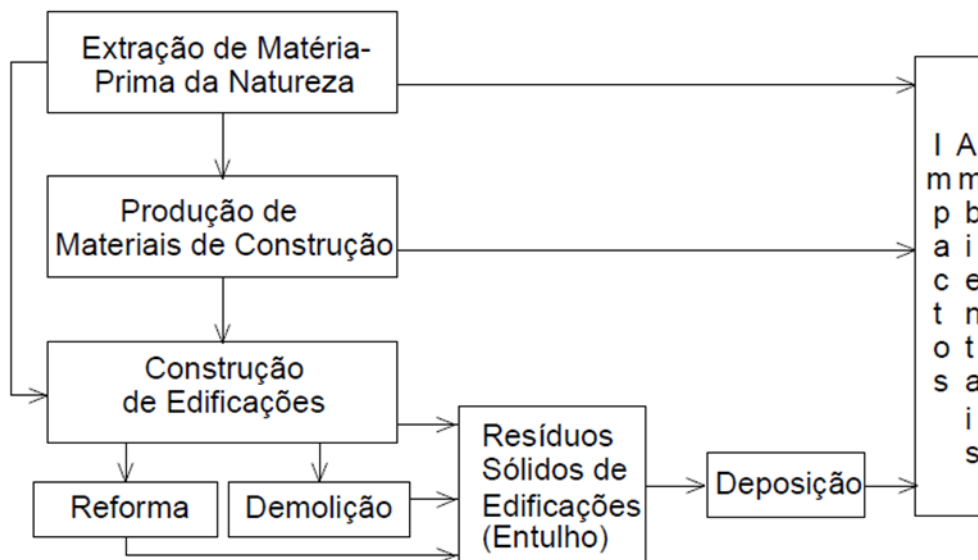
De acordo com Benyus (1997, p. 34):

“A humanidade precisa urgentemente de uma mudança de paradigmas, pois a forma como nossa sociedade está organizada de maneira insustentável pode acarretar consequências irreversíveis para a mesma, o que gera reflexões profundas compelidas sobre a necessidade de mudanças referentes à sustentabilidade.”

Conforme dados do site Green Domus, podemos estimar que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, resultando assim em uma enorme geração de resíduos. Só no Brasil, a construção gera cerca de 25% do total de resíduos da indústria. A geração de resíduos, em grande quantidade e geralmente de classificação inerte, apresentado na NBR 100004 de 2004, como aquele que se mantem inalterados por um longo período de tempo, é a principal problemática ocorrente no momento da construção ou demolição.

Segundo Barreto (2005), a construção civil é uma indústria que gera grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na paisagem urbana, acompanhadas de áreas degradadas.

Figura 4 - Impactos Ambientais da Cadeia da Construção Civil.



Fonte: Brasil - Ministério das Cidades. Secretaria de Saneamento Ambiental (2007).

Os impactos ambientais ocasionados pela atividade da construção civil não se restringem apenas aos aspectos físicos. A produção de cimento, material muito utilizado pela indústria, é responsável por cerca de 5% das emissões mundiais de gases estufas. O processo de fabricação do cimento é feito pelo aquecimento do calcário e argila, desta forma, a união destes materiais produz um material único, o clínquer. Dessa maneira, os principais impactos são provocados pela emissão dos gases poluentes provenientes dessa queima. Um exemplo é a alta emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases que desequilibram o efeito estufa. No processo de fabricação do cimento também podem ser liberados o óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e compostos de chumbo, sendo todos eles poluentes.

A Cement Sustainable Initiative (CSI - Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento), sob a orientação do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD - Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável), encomendou um vasto programa de pesquisa sobre o impacto da indústria do cimento em nível mundial, em que se trabalha para desenvolver um plano de ação, de modo a encontrar formas para aumentar a sustentabilidade da produção do cimento.

Santos (2004, p. 110), apresenta diversas definições para o conceito de impacto ambiental conforme se observa no quadro 1.

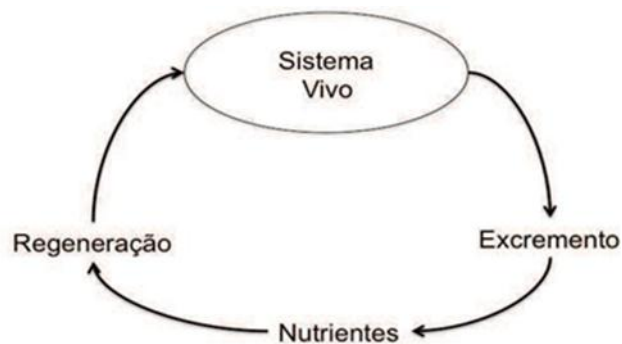
Quadro 1 - Algumas definições para o conceito de impacto ambiental.

Conceito	Autor
“Impacto ambiental pode ser visto como parte de uma relação de causa e efeito. Do ponto de vista analítico, o impacto ambiental pode ser considerado como a diferença entre as condições ambientais que existiram com a implantação de um projeto proposto e as condições ambientais que existiram sem essa ação.”	Dieffy, 1975.
“Qualquer alteração no sistema ambiental, físico, químico, biológico cultural e socioeconômico que possa ser atribuída a atividades humanas, relativas às alternativas de estudo para satisfazer às necessidades de um projeto.”	Carter, 1977.
“Mudança (positiva ou negativa) na saúde e no bem estar humano (inclusive a saúde dos ecossistemas dos quais depende a sobrevivência do homem), que resulta de um efeito ambiental e esta ligada a diferença na qualidade do meio ambiente com e sem a ação humana em questão”.	Munn, 1979.
“Impacto ambiental são processos que perturbam, descaracterizam, destroem características, condições ou processos no ambiente natural; ou que causam modificações nos usos instalados tradicionais, histórico ou dos solos e nos modos de vida ou na saúde de seguimentos da população humana; ou modificam, de forma significativa, opções ambientais”.	Fearo, 1979.

Fonte: Adaptado de SANTOS (2004, pág. 110).

Senge (2009) ressalta a importância de se viver em harmonia com o meio ambiente. Segundo o autor, diversos produtos e seus processos de fabricação devem eliminar os desperdícios, o que representa uma profunda transformação às economias industriais. O mesmo adiciona que qualquer país que realize esse feito, irá conseguir atingir um longo nível sustentável. Em um esquema mostrado abaixo, na figura 5, Senge (2009) afirma que os sistemas vivos obedecem a ciclos.

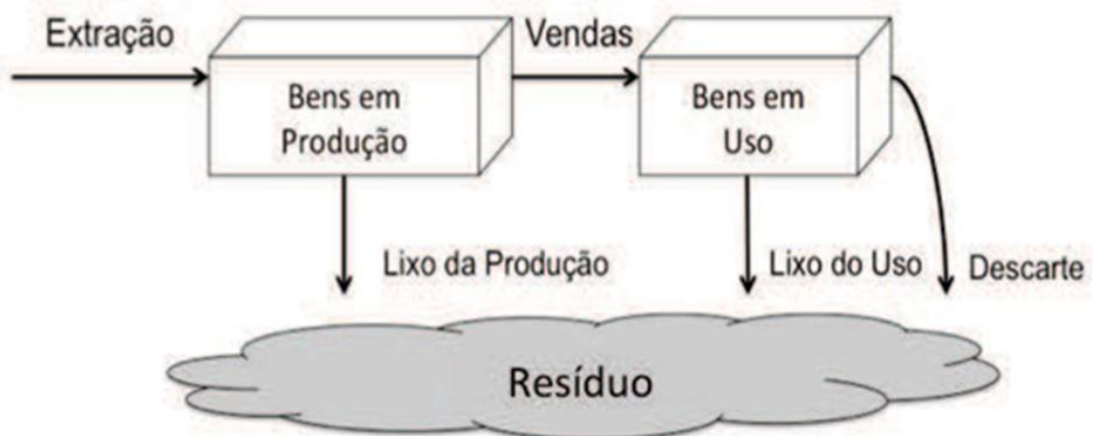
Figura 5 - Os sistemas vivos obedecem a ciclos.



Fonte: Adaptado de Senge (2009, p. 466).

De acordo com Senge (2009), os sistemas da era industrial não obedecem a ciclos como mostrado na figura anterior, apresentando um comportamento de acordo com o está representado na figura 6:

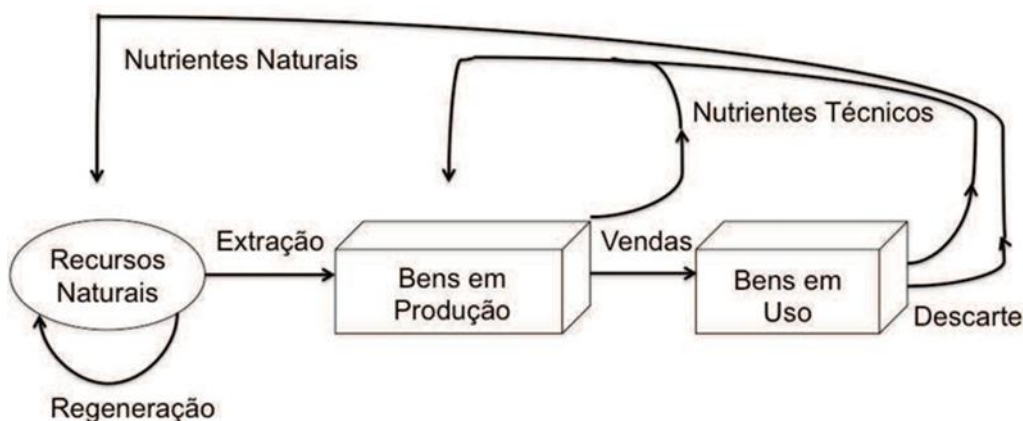
Figura 6 - Os sistemas da Era Industrial.



Fonte: Adaptado de Senge (2009, p. 466).

Por fim, Senge (2009) propõe um esquema mostrado na figura 7, de como a indústria pode aprender com a natureza, simulando-a e assim, mudando o modo de descarte do seu lixo, reduzindo-o.

Figura 7 - Como a indústria pode reduzir o lixo imitando a natureza.



Fonte: Adaptado de Senge (2009, p. 466).

No setor de construção civil, qualquer obra, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, causa impacto ambiental, por mais simples que seja. Apesar desta constatação, é possível perceber que existem soluções técnicas adequadas para minimizar os impactos que uma obra de engenharia causa. Exemplos como a simples organização de um canteiro de obras, o não desperdício de materiais, e a qualificação da mão de obra já refletem estes procedimentos. Tecnologias inovadoras desenvolvidas também podem auxiliar na atenuação destes impactos, tais como a utilização de materiais originados do reaproveitamento de resíduos da construção, materiais certificados e ecologicamente corretos. No que se refere à legislação ambiental, esta tem como objetivo principal proteger o meio ambiente e os cidadãos de todo e qualquer impacto, embora existente, muitas vezes ela não é respeitada por diversos motivos, deixando de cumprir a sua função.

O licenciamento ambiental é um instrumento administrativo, onde o órgão ambiental analisa se a implantação da obra é viável, as condições de instalação, a operação dos empreendimentos e as atividades que potencialmente poderão causar impactos ao meio ambiente. O procedimento busca identificar e analisar os impactos, definir medidas preventivas e corretivas, além de um plano para seu monitoramento. As atividades do setor de

construção civil são submetidas ao licenciamento ambiental, por causarem diversas transformações ao meio ambiente.

Córdoba (2014) ressalta que no Brasil, a resolução CONAMA n° 307/2002, instituiu que os municípios devem proibir a destinação de resíduos da construção civil (RCC) em aterros sanitários, áreas de “bota-fora” encostas, corpos d’água, lotes vagos e em área protegidas por lei.

3.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A cidade é hoje o habitat por excelência do ser humano. Em 1950, 29% da população mundial habitavam as áreas urbanas. Em 1975, essa mesma população já era de 36%, em 1990, 50% e até 2025 poderá ser pelo menos 60% ou chegar até mesmo aos 75%. A taxa anual de crescimento da população urbana no mundo entre 1965 e 1980 foi de 2,6%, mas entre 1980 e 1990 essa taxa foi de 4,5% (ROGERS, 1997).

Segundo Motta e Aguilar (2009), tanto em países desenvolvidos como naqueles que se encontram em desenvolvimento, é crescente o consumo dos recursos naturais devido à busca pela melhoria na qualidade de vida. Nossa sociedade busca um novo modelo de desenvolvimento que preveja o menor impacto ambiental aliado ao uso consciente dos recursos naturais e estimulando a justiça social e ética, ou seja, a busca por uma sociedade economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta, como base para o desenvolvimento sustentável. Entende-se então que a partir deste cenário a busca por um modo de vida mais sustentável tornara-se cada vez mais presente na sociedade, incluindo-se obrigatoriamente nesta busca a indústria da construção civil.

O tema sustentabilidade e desenvolvimento sustentável teve seu nascimento posteriormente ao acontecimento da primeira Revolução Industrial, na Inglaterra no final do século XVIII. Em 1972, a temática da sustentabilidade passou a ter visibilidade com a Declaração de Estocolmo (fruto da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, referida como Conferência de Estocolmo) (AGOYPYAN, 2011).

A Organização das Nações Unidas - ONU (1972, p. 1), diz que “durante a conferência foram elaborados 26 princípios comuns que oferecem aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano”.

Na indústria da construção civil, somente na década de 1990 o conceito de sustentabilidade foi incorporado em suas ações e preocupações. Na década de 2000, uma nova etapa sobre a sustentabilidade na construção civil passou a ter destaque com a discussão das

construções sustentáveis e sistemas de certificação de empreendimentos sustentáveis (Selo Ambiental), emergidas das conferências nomeadas (*Sustainable Building*).

A partir do século XXI começaram a surgir diferentes agentes de certificação, países distintos começaram a criar seus próprios selos para certificar projetos de caráter sustentável e assim oferecer até mesmo certa vantagem competitiva no mercado. O termo sustentável se tornou um diferencial estratégico competitivo atualmente. Abaixo no quadro 2, exemplificase, em ordem cronológica, os principais selos de certificação ambiental da atualidade. Os diversos selos foram criados em regiões ou países específicos, como exemplo cita-se a (*International Organization for Standardization*), conhecida como ISO, que desenvolve normas internacionais, auxiliando o comércio sem fronteiras e criando processos eficientes para as indústrias.

Quadro 2 - Selos de certificação ambiental para construções sustentáveis.

(continua)

Ano de Criação	Selo de Certificação	Características
1990	BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Selo inglês, que atua em diversos países, utiliza medidas de avaliação de desempenho internacionais.
1996	HQE	Haute Qualité Environnementale. Selo francês, que promove recomendações como alvos ambientais, divididos em 4 categorias: ecoconstrução, ecogestão, conforto e saúde.
1999	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design. Sistema internacional (desenvolvido na América do Norte) de certificação e orientação ambiental para edificações. A avaliação é feita em 7 dimensões.
2002	CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency. Sistema de certificação japonês de gestão da construção sustentável.
2004	NABERS	National Australian Built Environment Rating System. Selo australiano, utiliza medidas de avaliação de desempenho, cobre categorias de energia, água, desperdício e ambiente interno.
2008	AQUA	Alta Qualidade Ambiental. Selo brasileiro baseado no HQE e adaptado ao Brasil. Trabalha junto com o Sistema de Gestão do Empreendimento desde o início, promovendo controle total da construção.
2009	DGBN	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Selo alemão de certificação ambiental, pode ser adaptado às condições locais diversas. Utiliza 6 critérios de avaliação, com 4 níveis para certificação.

Quadro 2 - Selos de certificação ambiental para construções sustentáveis.

(conclusão)

2010	SELO CASA AZUL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	SCACS é uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela Caixa, priorizando o uso racional de recursos. Possui 53 critérios de avaliação em 6 categorias.
2014	PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações. Identifica e classifica a eficiência energética de edificações em certas categorias. É um instrumento de adesão voluntária.

Fonte: Panorama da sustentabilidade na construção civil: da teoria à realidade do mercado (2016, pág. 4).

Evidentemente, fica claro que o desenvolvimento sustentável completo não pode existir sem a construção sustentável, ou seja, “qualquer sociedade que procure atingir um desenvolvimento mais sustentável precisa necessariamente passar pelo estabelecimento de políticas ambientais específicas para a construção civil” (JOHN; SILVA; AGOPYAN, 2001). Com a importância de obras sustentáveis, para que se possam reduzir os impactos causados no ambiente, a construção ganhou normas próprias no âmbito da sustentabilidade, por meio do sistema ISO. São elas as normas:

- ISO 21930 (2007) - Sustentabilidade na construção civil – Declaração ambiental de produtos para construção;
- ISO 15392 (2008) - Sustentabilidade na construção civil – Princípios gerais.

O Comitê Técnico da International Organization for Standardization (ISO), exemplifica a definição de edificações ou construções sustentáveis através do conceito de Araújo (2008, pág. 2) como:

“Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício”.

A sustentabilidade posiciona-se cada vez mais como um item de relevância de um projeto arquitetônico. Trata-se de um conceito do projeto, onde há uma conciliação do habitat humano e a natureza. Conforme Edwards e Hyett (2013) a sustentabilidade é um indicador chave da qualidade do projeto, pois um projeto sustentável deve gerar valor por um período maior de tempo, utilizando os recursos existentes. As estratégias para a busca deste desenvolvimento sustentável devem atuar em três dimensões, sendo elas:

- Sustentabilidade Ambiental;

- Sustentabilidade Sociocultural;
- Sustentabilidade Econômica.

O objetivo deve ser o equilíbrio entre a dimensão ambiental, sociocultural e econômica, sendo definidas como metas as ações ambientalmente responsáveis, socialmente justas e economicamente viáveis, sendo estas representadas pelo autor John Elkington em seu modelo representativo de onde se originou o termo TBL (*Triple Bottom Line*) que ganhou reconhecimento considerável, sendo componente das estratégias das empresas na inovação e na geração de valor. O TBL também é denominado como os três Ps da sustentabilidade, que são as pessoas, planeta e lucro, representado na figura 8.

Figura 8 - Dimensões da Sustentabilidade.



Fonte: Logística Reversa.

Capra (2008, p. 233), ao falar de colaboração nas relações humanas, propõe uma relação direta com os ecossistemas:

“A parceria é uma característica essencial das comunidades sustentáveis. Num ecossistema, os intercâmbios cíclicos de energia e de recursos são sustentados por uma cooperação generalizada. Na verdade, vimos que, desde a criação das primeiras células nucleadas há mais de dois bilhões de anos, a vida na Terra tem prosseguido por intermédio de arranjos cada vez mais intrincados de cooperação e de coevolução. A parceria – a tendência para formar associações, para estabelecer ligações, para viver dentro de outro organismo e para cooperar – é um dos ‘certificados de qualidade’ da vida.”

Segundo Côrrea (2009), o fator sustentabilidade é uma forma de aprender com a natureza, portanto tem uma ligação direta com biomimética. No campo de engenharia a sustentabilidade é uma tendência crescente no mercado, sempre buscando soluções que apresentem viabilidade econômica, ambiental, social e cultural.

Com base no que a ciência biomimética pode nos proporcionar, podemos completar que as estruturas que utilizam desta ciência biomimética procuram gerar soluções adaptativas, visuais adequadas e com menos consumo de energia, tornando-se então estruturas sustentáveis. O consumo de recursos também é melhorado nos processos naturais. Dessa forma, a sustentabilidade está incorporada na evolução dos projetos da natureza, se tornando o melhor caminho, mais aprimorado e mais consciente.

3.3 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO INSPIRADOS PELA NATUREZA

Os materiais de construção assumem responsabilidades multifuncionais em uma estrutura desde o embelezar e sustentar, até assegurar a estabilidade da mesma, auxiliando na resistência a manifestações patológicas que colocam em risco a segurança das construções. É necessário na execução de um projeto que em todas as fases sejam escolhidos e aplicados materiais com bons desempenhos em cargo da durabilidade, eficiência energética, conforto térmico, relação custo- benefício e sustentabilidade, fatores que devem estar sempre presentes em criações ecologicamente corretas.

DeYoung e Hobbs (2009) afirmam que a biomimética permite obter materiais com propriedades diferenciadas e inovadoras. Studart (2012) manifesta que os materiais biológicos e os biomiméticos exibem estruturas bastante complexas em escala nano e micrométrica, e por isso podem ser considerados materiais complexo, assim percebe-se que esses materiais são exemplos muito ricos de como se pode “engenharia” a microestrutura de materiais para resolver problemas mecânicos desafiadores impostos pelo meio ambiente.

Um exemplo de material com inspiração biomimética são os vidros Ornilux, da empresa alemã Arnold Glass, nos quais há um filamento que reproduz a luz ultravioleta presente na teia de aranha, tornando o vidro visível aos pássaros, já que eles enxergam essa luz, fazendo com que não ocorram mais colisões e os vidros permaneçam transparentes aos olhos humanos, conforme ilustra a figura 9.

Segundo Carvalho (2015), os testes realizados com esse vidro, em parceria com a *American Bird Conservancy*, apresentaram uma redução de 75% no número de colisões de pássaros em arranha-céus.

Figura 9 - Vidro Ornilux.



Fonte: Método Biomimético Sistêmico: Proposta Integrativa do Método de Pensamento Biomimético e do Método de Pensamento Sistêmico (p. 20, 2017).

Outro exemplo de compostos naturais são os tendões, tecidos que ligam os músculos aos ossos, que possuem uma estrutura muito firme devido às fibras do colágeno, sendo estas a base de sua origem. Em seu livro, Janine Benyus (2007) descreve que:

“o tendão tem uma precisão quase inacreditável. O tendão do antebraço é um conjunto de cabos torcidos, como os cabos usados numa ponte suspensa. Cada cabo individual é por si só um conjunto de cabos mais finos. Cada cabo destes mais finos é um conjunto de moléculas torcidas, que são, naturalmente, conjuntos de átomos torcidos. Em todos eles, nota-se a beleza matemática.”

Deveras, a tecnologia dos cabos de aço usada nos dias de hoje em pontes suspensas foi inspirada pela estrutura dos tendões do corpo humano, sendo um efeito brilhante para a engenharia. A figura 10 demonstra o mecanismo de utilização deste no campo de obras.

Figura 10 - Similaridade entre os tendões do corpo humano e os cabos de uma ponte suspensa.



Fonte: Biomimetics: Technology Imitates Nature. Global Publishing, Istanbul, 2006.

Yayha (2006) apresenta-nos o material nácar que está sendo utilizado recentemente em projetos de aeronaves, estando este presente no revestimento interno dos moluscos. A estrutura do nácar que compõe as camadas internas da casca de um molusco tem sido imitada no desenvolvimento de materiais usados em hélices super-resistentes de motores a jato. Quando analisado através de microscópio, observa-se que o nácar possui plaquetas compostas por uma cristalina e densa forma de carbonato de cálcio, unidas através de uma proteína pegajosa. Este arranjo acaba por oferecer rigidez à estrutura.

Quando a substância calcária presente nos moluscos é comprimida por uma carga pesada, podem-se originar fissuras que se começam a propagar. Estas ao passarem através das camadas de proteína mudam de direção, o que permite dispersar a força imposta, impedindo as fraturas. Um segundo fator de rigidez passa pela extensão das camadas de proteína ao longo das fissuras que se formam, de forma a absorver a energia que permitiria a continuação da fissuração. Essas características presentes nos moluscos tem-se tornado um tema de estudo por muitos cientistas (YAHYA, 2006).

Figura 11 - Camadas de Proteína do Nácar.

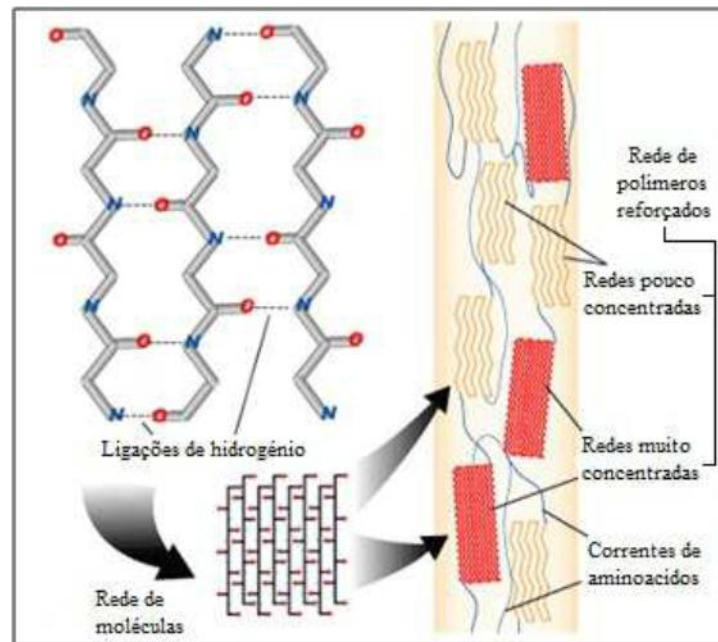


Fonte: Salvador Náutico (2011).

Outro exemplo da eficácia das soluções naturais vem dos fios da teia de aranha. De acordo com os cientistas, esta seda é um dos materiais mais fortes que se conhece. Referindo apenas as suas principais características, o fio de seda da aranha é cinco vezes mais forte que o aço da mesma espessura. Enquanto o aço de alta resistência atinge a ruptura para uma extensão inferior a 1%, o fio de teia de aranha consegue uma extensão de 30% antes de atingir a ruptura. Esta é a propriedade que lhe permite absorver elevada energia associada ao impacto provocado por um inseto durante o voo e tudo isto recorrendo somente a substâncias biodegradáveis e através de um processo que está anos-luz dos processos industriais necessários para a produção de aço (YAHYA, 2006). Individualmente, estas características podem ser encontradas em muitos outros materiais, porém é uma situação extremamente excepcional encontrá-las todas num só composto. O segredo da seda da aranha encontra-se escondido na sua estrutura química.

De acordo com o site *The Science Creative Quarterly* (SCQ, 2011), em português a Ciência Criativa Anual, seu material bruto é uma proteína chamada queratina, que consiste em correntes helicoidais de aminoácidos que interagem entre si através de ligações de hidrogénio e ligações covalentes, conferindo-lhe características especiais, tais como, resistência, elasticidade e impermeabilidade à água. Uma vez replicado todo o processo químico existente dentro de uma aranha, pode-se proceder à produção de muitos materiais úteis para a sociedade, tais como, cintos de segurança com a requerida elasticidade, pontos cirúrgicos fortes que não causam cicatrizes e tecidos para coletes à prova de bala.

Figura 12 - Estrutura de um fio de seda.



Fonte: Adaptado de The Science Creative Quarterly, SQC (2011).

3.4 APLICAÇÕES DA BIOMIMÉTICA

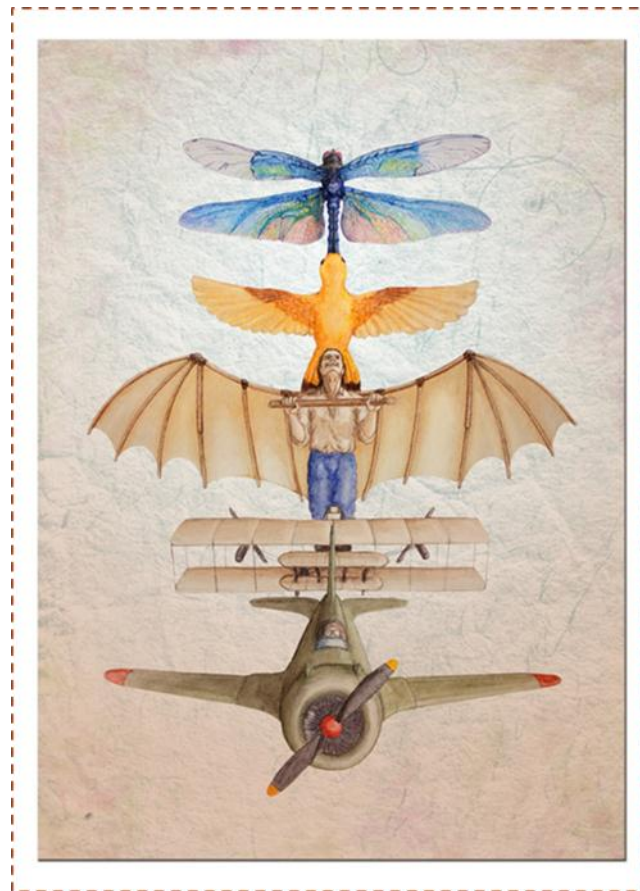
Sabemos o quanto é enorme a quantidade de informações que podemos aprender com a natureza, pois a mesma sabe o que funciona, o que é adequado e o que é durável. Conforme Benyus (2006), após 3,8 bilhões de anos de evolução, com mais de 30 milhões de espécies conhecidas, o meio natural evoluiu e se diferenciou nas mais variadas características, como formas, sistemas, cores e texturas, que servem de inspiração para todas as áreas criativas, como design, medicina, arquitetura e engenharia.

Segundo Lev Vygotsky (1998), a atividade de criar, inovar e modernizar faz do homem um ser que se volta para o futuro, modificando o seu presente e seu passado. Para esse psicólogo e educador, a criação é a condição necessária da existência e tudo que ultrapassa os limites da rotina deve sua origem ao processo de criação do homem. Por isso encontra-se na biônica uma eficaz ferramenta criativa, pois o ser humano através dela projetou ventiladores que “batem asas” até helicópteros com formato do corpo de um tubarão.

Leonardo Da Vinci é considerado por muitos pesquisadores como o pioneiro no uso da biônica e o pai desta ciência, devido a sua multiplicidade de talentos. Da Vinci fez analogias em suas obras, projetando máquinas com emulavam o meio natural. Um de seus trabalhos

mais famosos foi a Máquina Voadora, inspirada no estudo do voo dos pássaros. Apesar dos muitos inventos e projetos de Leonardo não serem construídos oficialmente na época, contudo, serviu para formular alguns dos princípios utilizados atualmente nos campos de engenharia (ARRUDA, 2002).

Figura 13 - Analogia entre o voo dos pássaros e aeronaves.



Fonte: Rafael Rojas Silva Santisteban (2017).

De natureza igual, a engenharia em interface com a biologia ergue a cada dia estruturas inspirados pela biodiversidade, resultando em verdadeiras obras de arte com qualidade e eficiência, que tem o potencial de interagirem com o meio que estão inseridas.

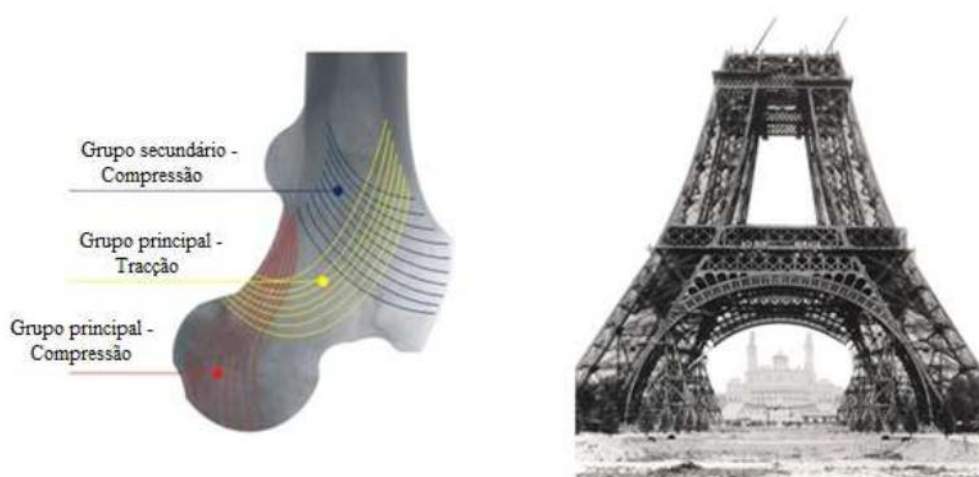
3.4.1 Torre Eiffel

Um dos exemplos mais famosos que retrata sua ligação com o biomimetismo é a Torre Eiffel, um grande marco presente na cidade de Paris. Projetada pelo engenheiro e arquiteto Gustave Eiffel e concebida entre 1887 e 1889. Este desenhou os componentes estruturais da torre tendo como base o fêmur humano. De acordo com Santos (2009), o fêmur é o osso mais forte e longo do corpo humano e efetua a ligação entre a anca e o joelho.

O esqueleto funciona como estrutura e suporte protegendo órgãos importantes e permitindo o funcionamento do aparelho locomotor. Uma das propriedades importantes do osso é a sua força e sua dureza, mas o tecido ósseo é também elástico, isto significa que quando submetidos à ação de uma força, sofrem uma deformação, mas cessando a força voltam ao seu estado inicial. Por sua propriedade elástica, lhe permite suportar, até certo ponto, forças de compressão e de tração sem sofrer fratura (HALL, 1991).

O engenheiro suíço Karl Cullman, ao analisar o estudo de Von Meyer que observou a extremidade superior deste osso e constatou que é composta por uma estrutura trabecular, concluiu que as trabéculas possuem uma maior concentração nas zonas de maior tensão do fêmur, o que lhe permitiu concluir que a natureza estava a reforçar o osso nestas zonas e que esta era uma das formas mais eficientes de suportar cargas descentradas. Com base nestas revelações, Gustave Eiffel calculou a curva dos pilares de base da torre (SANTOS, 2009).

Figura 14 - Similaridade entre o Fêmur e a Torre Eiffel.



Fonte: Adaptado de Permedica (2011).

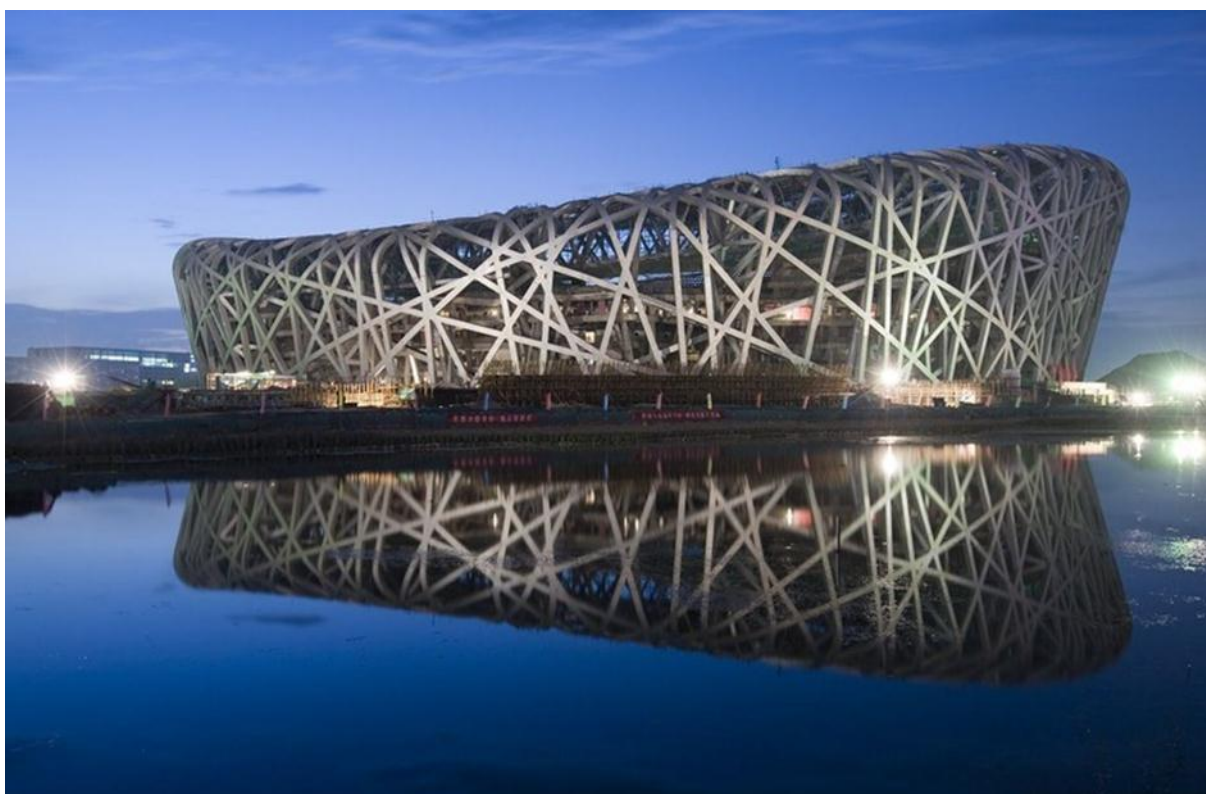
3.4.2 Estádio Olímpico de Pequim – Ninho de Pássaro

Localizado em Pequim, na China e baseado na lógica dos aparentes padrões aleatórios da natureza e inspirado nos conceitos de equilíbrio e harmonia do Yin e Yang, o estádio Nacional de Pequim foi construído para abrigar a 29ª Olimpíada, em 2008. Com custo de aproximadamente US\$ 423 milhões, o Ninho de Pássaro, recebeu esse nome devido ao seu modelo estrutural, possuindo suas arquibancadas completamente recobertas por vigas e treliças metálicas contínuas e entrelaçadas, que imitam o design dos gravetos nos ninhos de pássaro. O projeto foi pensado em diversos níveis, em especial levando em conta a área em que se encontra que possui intensas atividades sísmicas, sendo assim, a cobertura foi projetada de forma independente do estádio de concreto potencializando a resistência aos terremotos.

Representando o modelo de uma estrutura biomimética, o projeto do estádio olímpico de Pequim foi todo pensado no conforto de seus usuários com uma construção em forma de um anel elíptico que está dividida em oito zonas estruturais e sete níveis de pavimentos, com as pontas mais elevadas, permitindo uma visão excelente ao público. Abaixo da primeira camada da rede de aço da cobertura existem membranas translúcidas, infladas e impermeáveis de etileno tetrafluoretileno, que protegem contra a chuva e filtram os raios solares. Essas membranas são mais leves que o vidro, e por isso evitam sobrecarga na estrutura. Também estão presentes na fachada, evitando ventos muito fortes. No último nível interno existe o isolamento acústico, também feito por essa membrana.

Na estrutura desenvolveram-se também, sistemas que controlam a captação e utilização de água e energia, como por exemplo, a utilização de água da chuva para a irrigação do campo e luz solar para a iluminação interna, além da ventilação, pois a estrutura viabiliza a circulação do ar de forma cruzada.

Figura 15 - Estádio Olímpico de Pequim: Ninho de Pássaro.



Fonte: Mac.Arq (2018).

3.4.3 Trem - Bala em Shikansen no Japão

Versos (2010) apresenta como modelo de construções biomiméticas, o trem-bala desenvolvido pelo engenheiro Eiji Nakatsu. Quando o trem-bala japonês atingia uma velocidade de cerca de 270 km/h, fazia um barulho tão alto que podia ser ouvido a 400 metros de distância. O veículo comprimia o ar dentro do túnel de tal forma que, quando saía, produzia uma explosão sonora, tornando-se um problema considerável para as áreas residenciais próximas.

Desta forma, Nakatsu expôs o projeto do trem-bala tendo como referência o bico alongado do pássaro Martim-Pescador, animal este, que possui seu mergulho facilitado sem espirrar água em busca de sua refeição devido ao bico que contém.

Através desta inspiração no meio natural, reduziu-se o problema de vibração e barulho produzido antes, resultando em uma melhora significativa com um trem-bala 10% mais rápido, consumindo 15% menos de energia, e ainda, reduzindo a pressão do ar em 30% em relação ao modelo antigo (VERSOS, 2010).

Figura 16 - Similaridade entre o pássaro Martim-Pescador e o Trem-Bala de Nakatsu.



Fonte: Adaptado de Arruda (2018).

3.4.4 Votu Hotel – Obra Biomimética Brasileira

O Votu Hotel localizado na Praia dos Algodões – Península de Maraú na Bahia é considerado umas das primeiras grandes obras no Brasil que adota os conceitos da biomimética para desenvolver soluções sustentáveis inspiradas na sabedoria da natureza.

Figura 17 - Representação do projeto do Votu Hotel na Bahia.

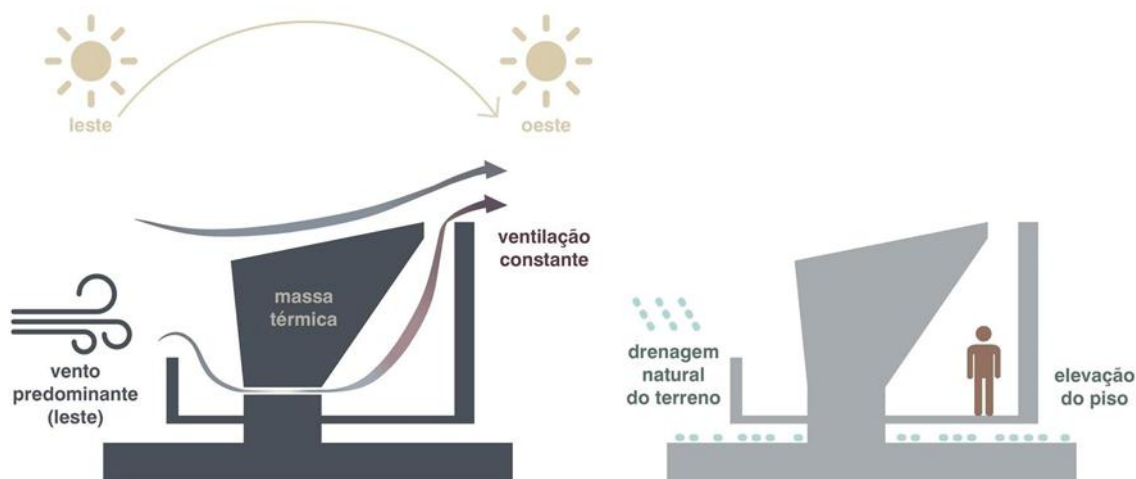


Fonte: ArqDaily (2019).

Fundado pelo arquiteto Sérgio Coelho, o escritório paulista GCP Arquitetura & Urbanismo foi escolhido para desenvolvimento do projeto. Estudaram-se técnicas baseadas na bio-inspiração e também em alguns animais e plantas presentes na região, para tornar o projeto mais confortável, a fim de respeitar o entorno e o usuário (ARQDAILY, 2019).

As soluções com biomimética nortearam o projeto arquitetônico, trazendo inovações a estrutura e coberturas eficientes. Na concepção das suítes foi incorporado o princípio de Bernoulli, no qual o fluxo de ar é retardado pelos montes de terra dos cães da pradaria, aumentando a pressão e forçando o ar a fluir rapidamente pelos túneis para se obter uma ventilação natural e constante, garantindo desta forma, o conforto térmico mesmo quando o espaço esteja fechado. O animal cão de pradaria faz suas tocas enterradas no solo com entradas e saídas de ar, com altura e diâmetro distintos permitindo que o vento sempre possa entrar e ventilar sua toca, sendo utilizado como modelo para o projeto (SUSTENTARQUI, 2019).

Figura 18 - Esquema de ventilação seguindo o modelo do habitat do animal Cão de Pradaria.



Fonte: ArqDaily (2019).

Esta estratégia foi aplicada na estrutura de concreto que inicia como base, cresce como paredes da área íntima e se desenvolve como cobertura.

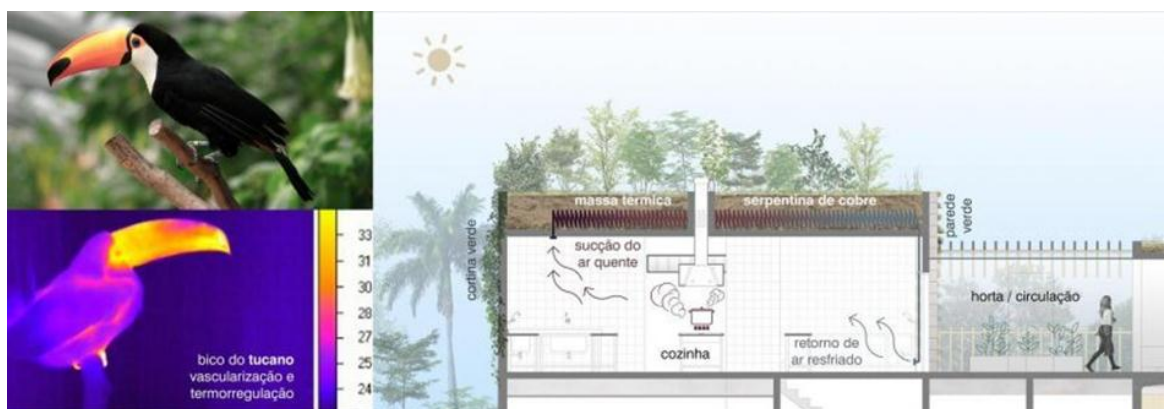
Figura 19 - Parte interna da estrutura mostrando o modelo de paredes executadas.



Fonte: SustentArqui (2019).

No prédio principal a cobertura da cozinha também é um telhado verde, porém atua como um grande trocador de calor inspirado nos bicos dos tucanos. O bico grande e vascularizado do tucano é um radiador térmico extremamente eficiente, oferecendo a maior troca térmica conhecida entre os animais. Portanto, o calor da cozinha é dissipado da mesma maneira: à medida que sobe, é atraído por uma serpentina de cobre que passa pelo solo do telhado. O ar esfria a sombra de um jardim no terraço e, eventualmente, retorna à cozinha, tornando-se um ar-condicionado natural que não requer energia adicional.

Figura 20 - Modelo estrutural executado na cozinha com semelhança ao um bico de tucano.



Fonte: SustentArqui (2019).

O fechamento destas construções foram inspirados na capacidade de auto-sombreamento de alguns cactos, que contam com longos espinhos e dobras para mitigar os extremos de calor e exposição solar. As dobras profundas oferecem sombra parcial, resfriando o ar no lado sombreado e criando uma gradiente que facilita a circulação e minimiza a absorção de calor. O projeto imita essa estratégia com brises verticais de madeira.

Figura 21 - Padrão do fechamento estrutural inspirados na capacidade de sombreamento de cactos.



Fonte: SustentArqui (2019).

4 METODOLOGIA

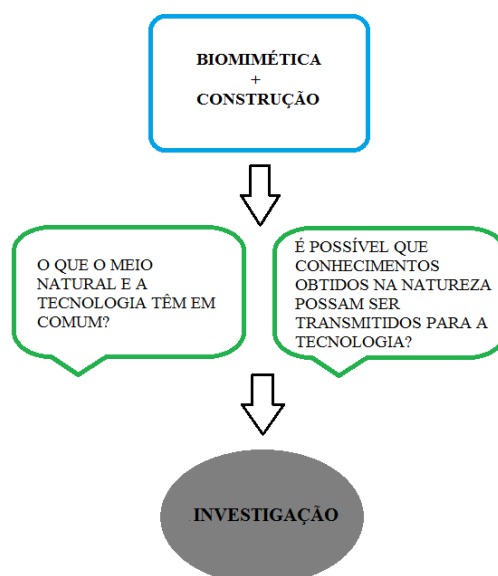
Com este trabalho, busca-se desenvolver uma análise dos principais conceitos e um panorama atual do conceito biomimética. Assim, a parte inicial deste estudo é constituída pela elaboração de uma fundamentação teórica através de pesquisas bibliográficas que abordam o tema proposto.

Na etapa inicial deste trabalho foram utilizados artigos publicados em periódicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros, pesquisas online em sites e páginas que fossem relevantes na área de biomimética.

Para se atingir os objetivos propostos, investiga-se primeiramente como o homem tem aplicado os princípios da natureza na engenharia. Após, com as análises realizadas, o objetivo, é poder compreender sobre o assunto dissertado, para que assim se possa concluir sobre a viabilidade da aplicação da biomimética, e que tipos diferentes de abordagem se podem fazer na sua utilização prática. Foram observadas estruturas ao redor do mundo que simulam o meio natural e também os materiais que possuem aplicabilidade no âmbito do biomimetismo.

Desta forma, se tenta transmitir a resposta para as seguintes perguntas levantadas no trabalho:

Figura 22 - O que se pretende responder com o trabalho realizado?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, inicia - se o estudo de caso sobre duas edificações que emulam em sua estrutura a ciência biomimética. As obras abordadas encontram-se listadas abaixo sendo em distintos países.

- Council House 2, Melbourne, Austrália;
- Eastgate Building, Harare, Zimbabwe.

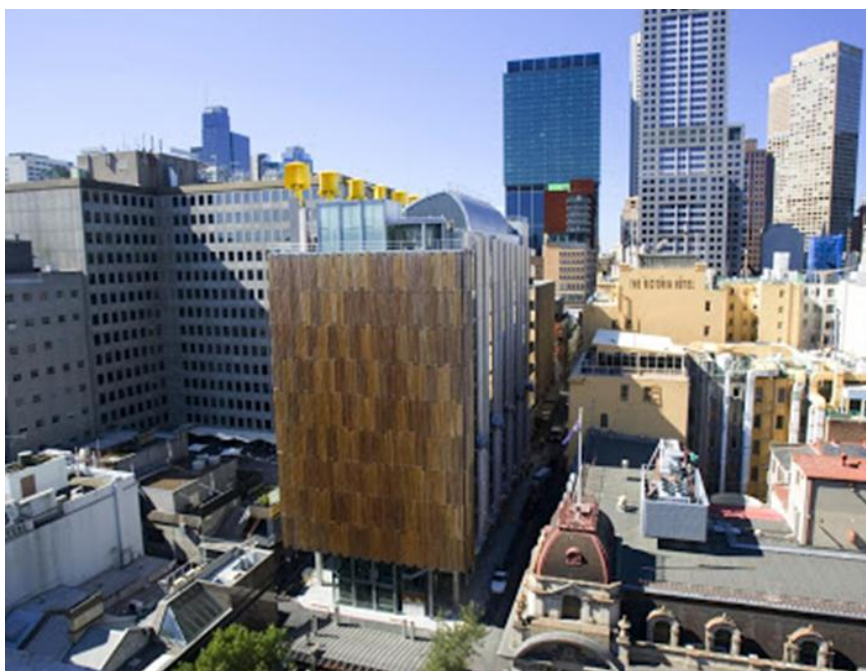
O estudo de caso será realizado, portanto, a partir da busca, leitura e investigação sobre o tema abordado nos projetos de estudo. Por fim, com a observação efetuada dos métodos utilizados será possível apresentar considerações sobre a aplicabilidade de conceitos biomiméticos e suas viabilidades em relação ao custo-benefício, conforto térmico, eficiência energética das estruturas.

5 APRESENTAÇÃO DE ESTUDOS DE CASO

5.1 COUNCIL HOUSE 2, MELBOURNE: ESTUDO DE CASO 1

O primeiro objeto de estudo de caso selecionado foi o Council House 2 em Melbourne na Austrália construído pelo arquiteto Mick Pearce com área de 12.536 m². O edifício foi projetado para abrigar a expansão da prefeitura de Melbourne, sendo um exemplo bem sucedido da arquitetura sustentável, onde soluções já conhecidas e também novas ferramentas foram incorporadas para garantir eficiência energética, conservação de água e geração de energia. Esta é a primeira obra do país a ser classificada com 6 estrelas pela corporação Green Building Council da Austrália (GBC-A), onde a quantidade de estrelas designa o quanto o edifício respeita os preceitos de sustentabilidade. A edificação conta com 12 andares, sendo multiuso, onde no térreo estão localizadas as lojas, no subsolo as garagens, nos outros 9 andares os escritórios da prefeitura e o terraço jardim. O design segue um modelo que promove um papel mais interativo entre a cidade e a natureza, potencializando todos os recursos naturais com o objetivo de minimizar os impactos ambientais criando um edifício orgânico, no qual todas as partes dependem uma da outra.

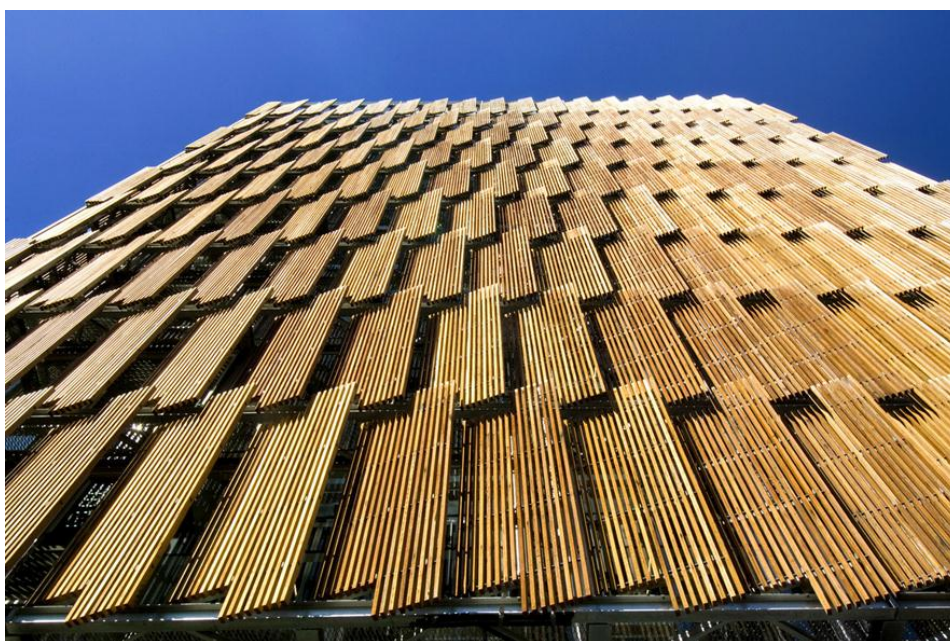
Figura 23 - Edifício Council House 2, Melbourne, Austrália.



Fonte: Open Buildings (2012).

A cidade de Melbourne está localizada na latitude 37° sul e possui como característica quatro estações do ano bem definidas, com invernos frios e verões bem quentes. Esta condicionante de projeto suscitou soluções arquitetônicas que atendem situações de inverno e verão. O Council House se utiliza da biomimética na sua envoltória, por meio de uma segunda pele formada por uma estrutura de aço e painéis de madeira reaproveitada, os brises verticais móveis, que cobrem toda fachada oeste do edifício. Esses painéis se movimentam, abrindo ou fechando, através de sensores controlados por computador de acordo com a quantidade de sol e a posição que ele atinge a fachada, ou seja, se adaptando às condições climáticas locais de maneira automatizada (KEELER, 2010). Essa “epiderme” contribui para o conforto térmico e visual, controle da ventilação e entrada de luz natural, criando um microambiente semi-fechado.

Figura 24 - Os painéis de controle solar na fachada norte do edifício.



Fonte: Urban Thriving, (2012).

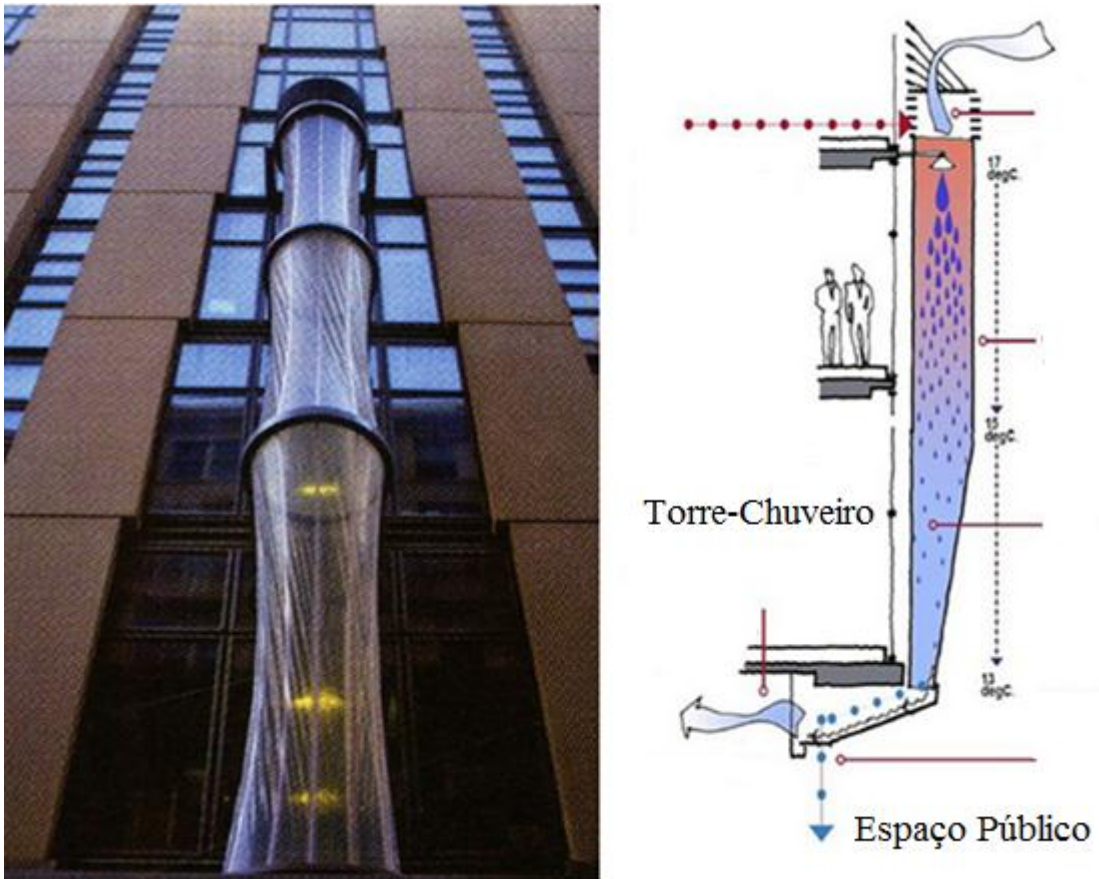
Entre outras ferramentas para sustentabilidade usadas no edifício estão exaustores para sugar o ar quente do teto, “torres-chuveiro” que por meio de evaporação tendem a diminuir a temperatura do ambiente, dutos que resfriam tetos, paredes e chão utilizando a brisa noturna, uso de energia eólica e solar por turbinas e painéis instalados na cobertura, jardins verticais na fachada norte e aproveitamento da água da chuva. Tudo isso caracteriza um edifício dinâmico, que interage com o meio ao seu redor utilizando os recursos naturais para aproveitamento

máximo, baseado no conceito de sinergia: um edifício constituído por diversos sistemas que se sobrepõem, cada um sendo mais do que a soma das suas partes (PAEVERE & BROWN, 2012).

O CH2 é resfriado por um gerenciamento oportuno da diferença de temperatura entre o ar noturno e o diurno. Nesse caso, uma parte inteira do edifício é aberta para direcionar a entrada de ar através de persianas automáticas feitas de madeira reciclada. Essa “limpeza noturna” exala o ar mais quente diretamente dos escritórios e das lojas e esfria a massa de concreto. O ar quente sobe até as aberturas no teto e depois viaja através de pisos vazados até um eixo vertical e, eventualmente, até as aberturas de ventilação. Este tratamento passivo por si só é suficiente para manter os espaços confortáveis por uma parte do dia. O ar fresco resfriado sobe através dos registros do piso durante o dia (PAEVERE & BROWN, 2012).

De acordo com o estudo realizado por Paevere & Brown (2012), o Council House 2 também usa outro gradiente de temperatura de um fluido, a água, para condicionar o ar no edifício. Primeiro, a água é “extraída” do suprimento de esgoto da cidade, filtrada três vezes e depois colocada em funcionamento, lavando banheiros, regando plantas e condicionando o ar. A água é escorrida para fora da estrutura através de cinco “torres de chuveiro” de 15 metros (abaixo), que criam ar resfriado por evaporação para indução nos espaços comerciais mais baixos, como representado na figura 25.

Figura 25 - Esquema de distribuição de água do CH2.



Fonte: adaptado de Mick Pearce – CH2.

A água restante é canalizada para o armazenamento do porão, onde é resfriada através de um aparelho de mudança de fase e distribuída quando necessário. O aparelho de mudança de fase é composto por 10.000 esferas de aço inoxidável contendo sais com um alto ponto de congelamento (15°C) que são congelados à noite e depois usados para resfriar a água para distribuição durante o dia, assim como os cubos de gelo resfriam sua bebida. Essa água recém-resfriada é bombeada do porão para vigas refrigeradas em todos os níveis do edifício. Essas vigas são tubos de cobre dispostos que deixam o ar frio no final do dia, quando os efeitos de circulação humana noturna desaparecem.

Este edifício também utiliza massa térmica para absorver calor, reduz o ganho de calor por uma colocação estratégica de vidros e produz energia e calor por painéis solares fotovoltaicos e térmicos e por uma usina de cogeração a gás. Na figura 26, podem-se observar exaustores na cobertura para sugar o ar quente controlando a temperatura do ambiente.

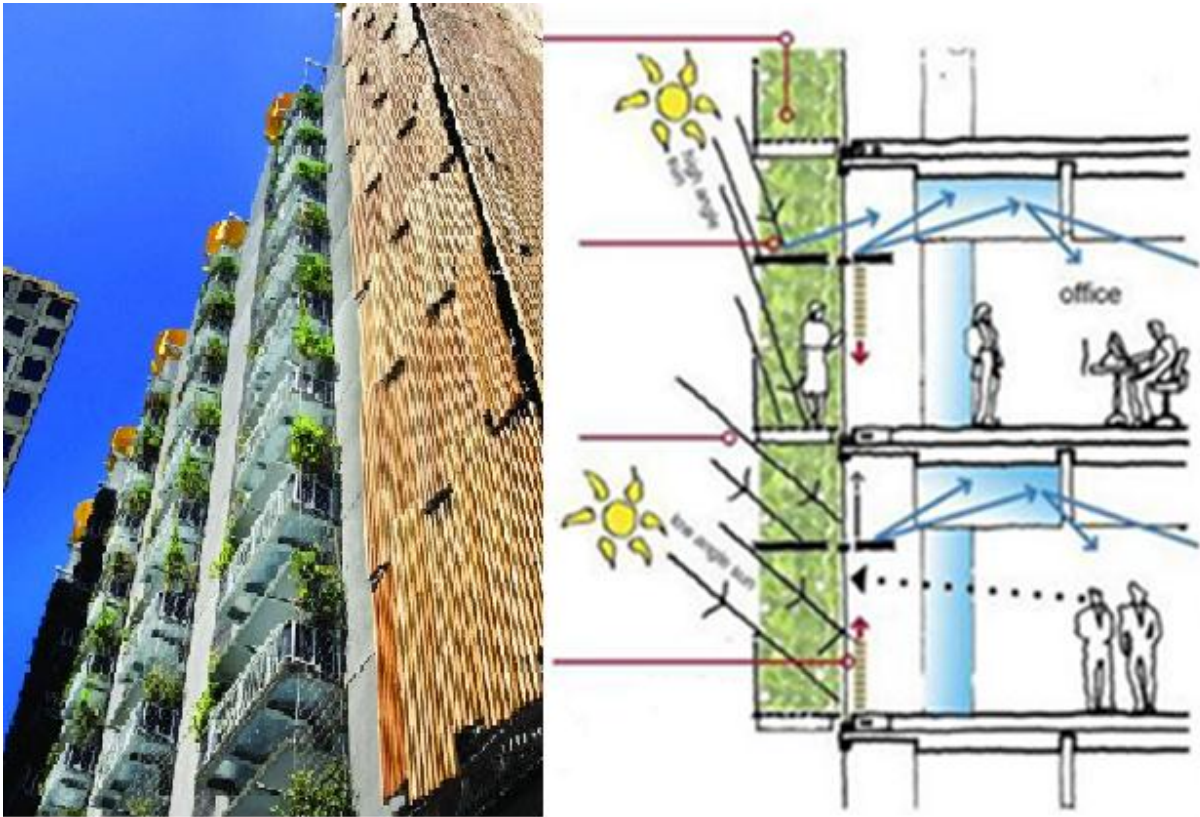
Figura 26 - Turbinas verticais reguladoras de temperatura.



Fonte: Open Buildings (2012).

Conforme Murdoch (2009), o uso da vegetação como estratégia de projeto, aparece no terraço jardim e também nos balcões da fachada norte. Ele também hospeda uma quantidade equivalente de superfície da folha da planta no local (para substituir o que teoricamente foi perdido pelo desenvolvimento da terra), que oxigena o ar dentro e fora da edificação, e reduz a quantidade de emissões de CO₂, como é observado na figura 27.

Figura 27 – Vegetação presente na fachada norte do CH2.



Fonte: adaptado de Mick Pearce – CH2.

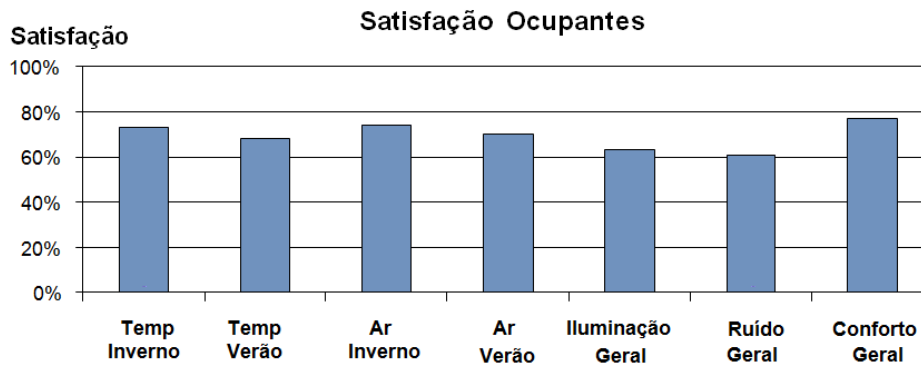
As fenestraçãos dessa fachada possuem dimensões diferentes, que se ampliam na medida em que se aproximam do solo (proporção inversa à penetração de radiação solar). O sombreamento das aberturas se dá através de balcões e treliças com vegetação trepadeira.

Paevere (2008) realizou um relatório pós-ocupação através de questionários e entrevistas com os ocupantes do Council House, que foram registrados após um ano de uso predial, as seguintes conclusões:

- Conforto Térmico: As classificações de insatisfação térmica estavam abaixo de 10% na maioria dos locais do edifício, mas o fluxo de ar é percebido como baixo. Algumas preocupações foram levantadas durante as entrevistas dos grupos focais do CH2 sobre variação de temperatura dentro e entre pisos e tendência a ser muito quente nas tardes de verão.
- Qualidade do Ar: A qualidade do ar do CH2 é excelente em termos de níveis de poluentes medidos devido à entrada de ar 100% fresco e ao uso de materiais de baixa toxicidade, bem como um uso extensivo de plantas de interior.

- Iluminação: Os níveis de iluminação de fundo são suficientes, sendo a satisfação dos ocupantes pela iluminação é média no CH2.
- Índices de ruído: As medidas dos níveis de ruído ambiente foram consideradas ideais, no entanto através da pesquisa com os ocupantes da edificação, constatou-se que em relação ao ruído as taxas de satisfação são médias em torno de 60%. Os baixos índices de satisfação se devem principalmente a interrupções indesejadas e distrações de outras pessoas no edifício. Satisfação com privacidade de fala no CH2 pode ser melhorada através do ajuste do sistema de ruído branco instalado no edifício.

Figura 28 - Satisfação dos ocupantes segundo pesquisas realizadas.



Fonte: adaptado de PAEVERE & BROWN (2012).

Quadro 3 - Resumos das classificações com base em medições físicas.

Temporada	Piso	Qualidade Interna do Ar	Conforto Térmico	Iluminação	Ruído
Inverno	Baixa	3	3	2	3
	Média	3	2	2	3
	Alta	3	3	2	3
Verão	Baixa	3	3	2	3
	Média	3	3	2	3
	Alta	3	2	2	3

Avaliação: 3 = Bom; 2 = Satisfatória; 1 = Ruim.

Fonte: adaptado de PAEVERE & BROWN (2012).

No geral segundo Paevere 80% dos ocupantes preferem o CH2 ao alojamento anterior. Também foi visto que a produtividade da equipe melhorou 10,9%, resultando em uma

economia de mais de dois milhões de dólares. Houve também uma redução das emissões de CO₂ em 87%, do consumo de eletricidade em 82%, do gás em 87% e de água em 72%. O custo total de construção da CH2 foi de US \$ 51,045 milhões, dos quais aproximadamente US \$ 12 milhões foram gastos em mecanismos de design sustentável. Com essas melhorias, o CH2 economiza energia suficiente para equivaler a US \$ 5.479,45 por dia, resultando em um período de retorno do valor investido em tecnologias sustentáveis em apenas sete anos.

5.2 EASTGATE BUILDING, HARARE: ESTUDO DE CASO 2

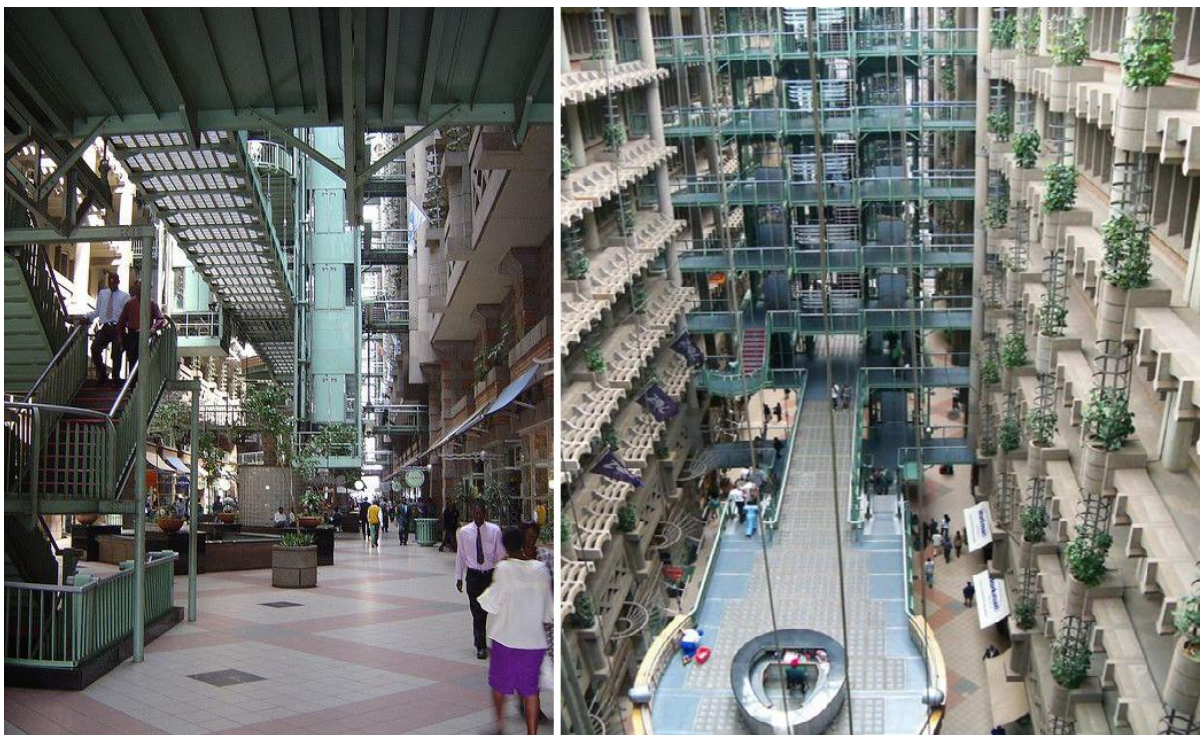
O Eastgate Center é uma edificação de duas torres sendo respectivamente, a primeira torre onde está localizado um Shopping Center e na segunda, diversos escritórios comerciais. A estrutura foi inaugurada em 1996, pelo arquiteto Mick Pearce, possuindo uma área total de aproximadamente 32.000 m² estando localizada no centro da capital de Zimbábue, Harare. O edifício possui dois grandes blocos distribuídos respectivamente em nove pavimentos, de leste a oeste, ligados por um telhado de vidro aberto à brisa local, onde abaixo desse, estão presentes pontes e elevadores suspensos em cabos de vigas de treliça de aço que se estendem sobre o pátio da construção. Os elevadores se conectam a uma passarela suspensa que percorre toda a extensão do pátio no segundo nível da edificação. O centro da passarela é conectado ao primeiro nível da estrutura através de escadas rolantes, sendo este o nível da rua, que permite ao usuário chegar à rede da cidade (MICK PEARCE, 2016).

Figura 29 - Eastgaste Building localizado em Harare, capital do Zimbábue.



Fonte: Raciocínio Cristão (2015).

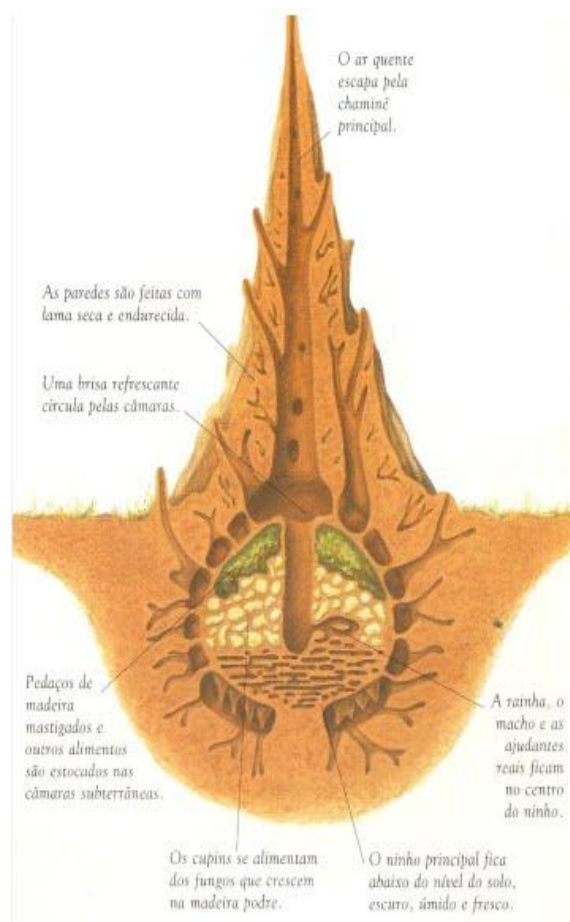
Figura 30 - Localização de passarelas, pontes e escadas na parte interna do Eastgaste.



Fonte: adaptado de Pinterest (2016).

Sabendo - se que a região do edifício em questão era de clima tropical, o arquiteto Mick Pearce inspirou-se na natureza para realizar a construção, se voltando para os cupinzeiros africanos como modelo, tornando a obra do Eastgate Building em um dos exemplos práticos mais conhecidos da biomimética. O cupim é um dos construtores mais bem-sucedidos da natureza, conhecidos atualmente como maravilhas da engenharia. As estruturas elaboradas pelos cupins podem chegar até 6 metros de altura tendo suas paredes espessas cozidas pelo sol, tornando-as tão resistentes quanto ao concreto e também, capazes de manter uma temperatura constante em seu interior, apesar das grandes variações que ocorrem no ambiente externo (RACIOCÍNIO CRISTÃO, 2015). Os cupins alcançam esse feito notável ao abrirem e fecharem constantemente, diversas aberturas de aquecimento e resfriamento ao longo de sua estrutura durante o dia (INHABITAT, 2012).

Figura 31 - Princípio de ventilação do cupinzeiro.

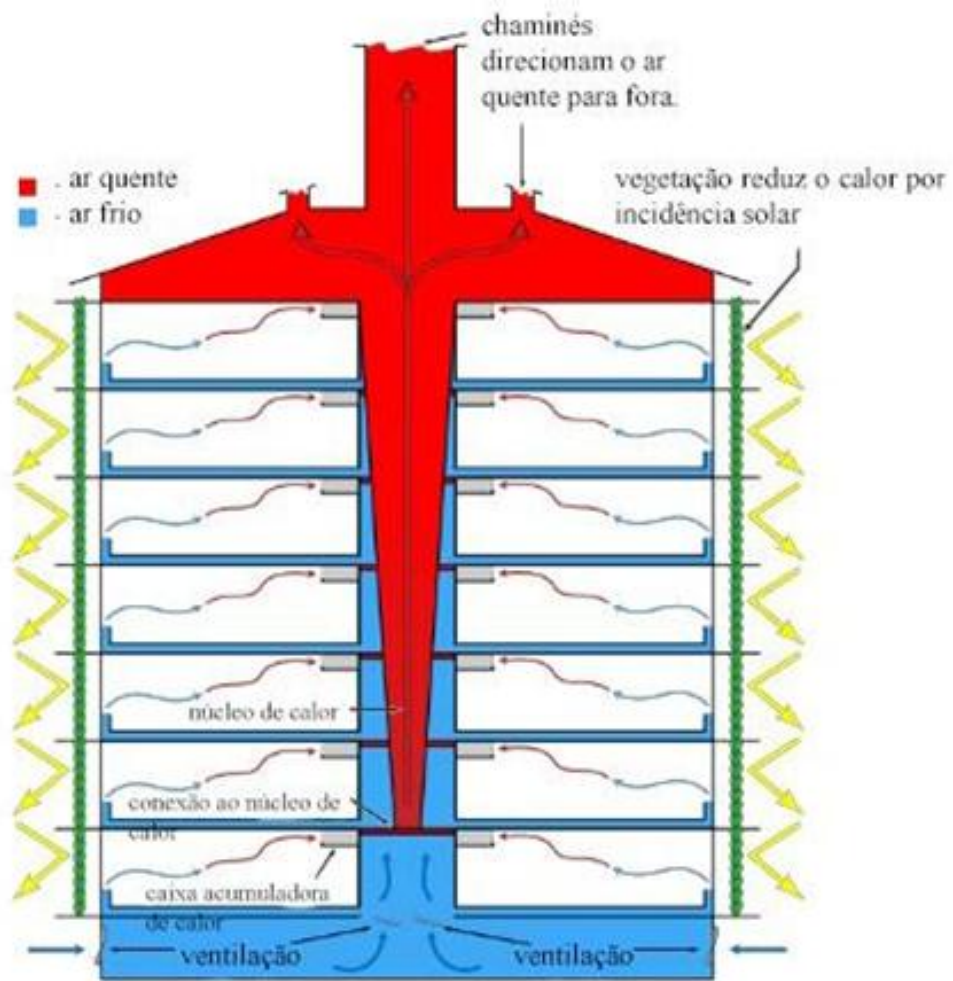


Fonte: Biologia para biólogos (2018).

Segundo Maglic (2014), o Eastgate Center é uma expressão de duas arquiteturas: a nova ordem de tijolo e pedra reconstruída; e a antiga ordem de aço e vidro. A estrutura é de concreto pré-moldado revestida de tijolo escovado para expor o agregado de granito, fornecendo ao mesmo um aspecto semelhante ao das rochas presentes na paisagem de Zimbábue. Mick Pearce (2016) ressalta que a edificação foi projetada para explorar mecanismos de controle climáticos mais passivos e energeticamente eficientes, assim sendo, os materiais de construção do edifício têm uma alta capacidade térmica, o que permite armazenar e liberar o calor ganho no ambiente circundante.

Os elementos maciços de pedra saliente juntamente com a vegetação aplicada internamente e externamente na estrutura, não apenas protegem as pequenas janelas do sol, mas também aumentam a área externa do edifício para melhorar a perda de calor no espaço durante a noite e minimizar o ganho de calor durante o dia. Portanto, à noite, o ar fresco é permitido na parte inferior do edifício e assim inicia-se o fluxo convectivo que expelle o ar quente durante o dia através das aberturas do telhado. Esse ar frio também é armazenado e distribuído no dia seguinte nos escritórios por pisos ociosos e aberturas de rodapé (MICK PEARCE, 2016).

Figura 32 - Sistema de ventilação do Eastgate Building.



Fonte: Adaptado de Raciocínio Cristão (2015).

Mick Pearce (2016) diz que o calor interno gerado pelos ocupantes e aparelhos do edifício, ajuda a direcionar o fluxo de ar dentro dos espaços abertos internos, que acaba subindo para os escritórios e lojas nos andares superiores em direção a chaminés abertas no telhado. Várias aberturas em todo o edifício permitem ainda o fluxo de ar interno passivo impulsionado por ventos externos. O ar segue sendo aspirado deste espaço aberto e em seguida é empurrado para cima através de dutos verticais que estão localizadas na coluna central de cada um dos dois edifícios. Neste momento ocorre na estrutura a troca de ares, onde o ar fresco substitui o ar quente que sobe e sai pelas portas de exaustão nos tetos de cada andar, sendo expelido por chaminés. Ao longo da cumeeira do telhado de telhas vermelhas, há 48 funis de tijolos no topo de pilhas internas que puxam o ar de exaustão dos andares de

escritórios abaixo. Sob o piso do escritório, há uma sala de mezanino onde 32 bancos de ventiladores de baixo e alto volume extraem o ar do pátio através de filtros.

Projetado por Mick Pearce, o Eastgate Building não possui ar-condicionado ou aquecimento convencional, mas permanece regulado o ano todo com um consumo de energia significativamente menor, usando métodos presentes em nosso meio natural. Através de dados que foram coletados, sabe-se que em um período de 10 meses do ano a edificação pode sofrer um resfriamento de cerca de 3 graus célsius entre a temperatura externa e interna, em condições médias. O edifício utiliza menos de 35% da energia de um edifício convencional do seu tamanho, eficiência que teve essencial desempenho nos resultados de ecoeficiência e econômicos da estrutura. A economia gerada pela ventilação baseada nos cupinzeiros africanos trouxe aos proprietários uma redução de 10% nos custos de arejamento caso tivessem instalado um sistema de ar-condicionado, finalizando a obra em um orçamento total da obra de 3,5 milhões de dólares. Essas economias também chegaram aos usuários que pagam valores cerca de 20% mais baixos nos aluguéis do que os dos ocupantes de outros prédios da região (MICK PEARCE, 2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado teve como objetivo mostrar o ramo da ciência denominado biomimética, atendendo a proposta de resumir os conceitos biomiméticos, analisá-los e exibir suas aplicações em obras ao redor do mundo, mostrando o porquê deve-se dar importância para o pensamento biomimético nas construções, visando sempre soluções sustentáveis a fim de contribuir para a diminuição dos impactos ambientais que as mesmas causam trazendo conforto, eficiência, beleza, em estruturas que acabam por tornar-se um ecossistema interno e externo e não máquinas para se viver.

Dentre os diversos autores usados como referência para a elaboração deste trabalho, destacam-se Benyus (2006), Baumeister (2013) e Arruda (2016) pelas ideias diferenciadas que valorizam a natureza e os sistemas presentes nela, tomando-os como exemplos para as indústrias, construções e para as comunidades humanas.

Emular a natureza é uma parte primordial da prática da biomimética. Todas as pessoas podem projetar utilizando a natureza como modelo, mentora e medida. Artefatos, construções, computadores, entre outros possuem uma complexa interação de componentes, estruturas e relações. A vida acrescenta informação à matéria, ou seja, propõe estrutura, e, dessa forma, gera uma função para a criação. A criatividade em diferentes projetos que envolvem não apenas questões de funcionalidade e estética, mas também a integração correta dos sistemas e subsistemas para atingir o máximo desempenho (LIYANAGE, 2010). Nesse contexto, Gruber (2013) destaca um importante motivo para que essas ideias sejam inseridas de forma estratégica no projeto por meio da natureza: a biomimética é um método de trabalho que se encaixa em diversos processos de diferentes disciplinas.

Barcelos (2018, apud Bodach e Hamhaber, 2010), noz diz que as barreiras que prejudicam o avanço em direção a um maior desenvolvimento sustentável em construções no Brasil são derivadas de uma combinação que engloba diversos fatores: baixa consciência quanto ao uso de novas alternativas, baixa capacitação da mão de obra e uma indústria atrasada em relação à adoção de tecnologias sustentáveis. A iniciativa para superar esses obstáculos precisa partir dos profissionais atuantes na área da construção, como arquitetos, engenheiros e pesquisadores, também outros profissionais como biólogos que juntos destes, podem elaborar construções que apresentem um elo com o meio natural, trazendo o uso dos conceitos biomiméticos para realização de seus projetos. A sustentabilidade, porém, é um campo que ainda recebe pouca atenção na formação acadêmica desses profissionais, e

somente muito recentemente esses princípios começaram a entrar no currículo das universidades.

O meio natural enfrenta diversos desafios há séculos que pedem por nossa mudança, que enxerguemos o quanto à natureza pode nos beneficiar com tudo que conserva e com as viabilidades que oferece. As transformações no modo em que a indústria da construção age se tornam necessárias na medida em que o planeta Terra atravessa um momento decisivo em seu processo de existência. O setor da construção não pode continuar sendo produzido e planejado sem que haja um compromisso com o bem-estar e a sustentabilidade da vida como um todo. É necessário o olhar para a natureza, buscando e conectando soluções integradas, que incluam a indústria, os usuários e a Terra em uma só comunidade colaborativa. O futuro requer uma revolução no setor da construção para atender às demandas de mudança na maneira de projetar, construir e operar edificações, sendo a eficiência energética uma ferramenta potente para se atingir a sustentabilidade, reduzindo custos e os impactos negativos que causa no planeta, e trazendo conforto os usuários que irão utilizar deste novo pensamento construtivo.

A partir do trabalho realizado, acredita-se que a biomimética surge com o intuito de mostrar ao homem que existe uma ciência capaz de unir termos matemáticos com o ambiente natural, capaz de solucionar os problemas que estão inseridos em nossa sociedade atual. Assim sendo, tomar a natureza como fonte de inspiração é justificável devido ao fato dos sistemas biológicos existentes terem conseguido sobreviver ao longo de milhares de anos, através da adaptação às condições do meio ambiente predominante, utilizando os recursos da natureza de uma forma surpreendentemente eficiente.

Estamos todos inseridos numa rede que conecta os ecossistemas, e entender a interdependência das relações é essencial para a existência. Quanto mais otimiza-se os recursos e energia, mais se reconhece os impactos de nossas ações e mais consciente torna-se o nosso papel para a manutenção da vida no planeta. Como já disse E. F. Schumacher, “A sabedoria demanda da ciência e da tecnologia uma nova orientação em direção ao orgânico, ao gentil, ao elegante e ao belo”.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo deste trabalho, identificaram-se algumas oportunidades para trabalhos futuros que poderiam auxiliar mais no entendimento do uso dos conceitos desta ciência. Essas sugestões são apresentadas a seguir:

- Aplicação de um questionário em empresas de construção com o intuito de saber se essas fazem uso de materiais sustentáveis em suas obras e se visam a importância de tornar as obras mais sustentáveis;
- Apresentar o conceito do biomimetismo através do questionário e mostrar o quando o uso deste pode trazer benefícios;
- Propor um novo pensamento de construir que cuide do meio ambiente e proteja-o.

As sugestões propostas visam a minimizar os impactos ambientais e a atualizar estratégias de inovação, tecnologia e sustentabilidade em atividades industriais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. **Pensamento Sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional.** REAd – Revista Eletrônica de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Junho de 1997.

ANDRADE, A. **Pensamento sistêmico, caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANDRADE, A. **O curso do pensamento sistêmico.** São Paulo, 2014.

ARAÚJO, M. **A Moderna Construção Sustentável.** 2016. 6 f.

ARCHDAILY. **Aprendendo com a natureza: Conheça o projeto do Votu Hotel.** 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/887431/aprendendo-com-a-natureza-conheca-o-projeto-do-votu-hotel>>. Acesso em: 23 de novembro, 2019.

ARRUDA, A. **O que é Biônica?.** In: Revista Arte Comunicação. v.1, n.1, p.19-24, jun. 1994. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1994.

ARRUDA, A. **Como a Biônica e Biomimética se relacionam com as estruturas naturais na busca de um novo modelo de pesquisa projetual.** 2014. 9 f.

ARRUDA, A. **Métodos e processos em Biônica e Biomimética: A revolução tecnológica pela natureza.** 2018. 260 f.

ARRUDA, A.; LAILA, T.; ROBERTO, A.; LIBRELOTTO, L.; FERROLI, P. **Tópicos em design: Biomimética, Sustentabilidade e Novos Materiais.** p. 17-95, maio 2019.

ASKNATURE. **Eastgate Center.** 2018. Disponível em: <<https://asknature.org/idea/eastgate-centre/>>. Acesso em : 10 de novembro, 2019.

BAUMEISTER, D. **Biomimicry resource handbook: a seed bank of best practices**. Missoula: Printed in the United States of America, 2013.

BARBIERI, J.; VASCONCELOS, I.; ANDREASI, T.; VASCONSELOS, F. **Inovação e Sustentabilidade: Novos Modelos e Proposições**. 2010. 9 f.

BENYUS, J. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. In: BENYUS, J. M. Echoing nature. New York: HarperCollins, 1997.

BENYUS, J. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. 2002.

BENYUS, Janine. **Biomimicry: what would nature do here?**. In: THE BIONEERS SERIES. Nature's operating instructions: the true biotechnologies. Edited by Kenny Ausubel with J. P. Harpignies. Foreword by Paul Hawken. San Francisco, 2004.

BENYUS, J. **Biomimética, inovação inspirada pela natureza**. São Paulo: Cultrix, 2006.

BENYUS, J. **Biomimicry Primer**. 2016. Disponível em: <https://biomimicry.net/b38files/A_Biomimicry_Primer_Janine_Benyus.pdf>. Acesso em: 02 outubro, 2019.

BROCCO, G. **Método biomimético sistêmico: proposta integrativa do método de pensamento biomimético e do método de pensamento sistêmico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2017.

BROCCO, G. **Apostila Biomimética**. 2018. 17 f.

BROWN, T. **Design thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CÔRREA, L. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 70 f. Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

CONSENTINO, L.; BORGES, M. **Panorama da sustentabilidade na construção civil: da teoria à realidade do mercado. 2016. 9 f.**

DETANICO, F.; TEIXEIRA, F.; SILVA, T. **A Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto. 2010. 14 f.**

DEZORDI, A.; VIEIRA, E.; SAUSEN, J. **O impacto nos custos ambientais dos resíduos gerados na construção civil. 2017. 15 f.**

DEYOUNG, D.; HOBBS, D. **Discovery design: searching out the creator's secrets.** United States of America, Green Forest: Master Books, 2009.

FERREIRA, C. **Perguntar à Natureza · Biomimicry Thinking.** Dissertação - Mestrado em Design de Equipamento e Especialização em Design de produto. 2016. 179 f.

GEADA, O. **Biomimética: uma nova abordagem na conquista do espaço. Ciência Hoje, 2006.** Disponível em: <<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=2896&op=all>>. Acesso em: 02 de outubro, 2019.

GUEDES, G. **Gestão de Resíduos na Construção Civil. 2014. 8 f.**

GUIMARÃES, F.; PEREIRA, M. **Biomimética: Tecnologias que imitam a natureza. 2018. 20 f.**

GREENBIZ. **How Termites Inspired Mick Pearce Green Buildings. 2018.** Disponível em: <<https://www.greenbiz.com/blog/2009/09/02/how-termites-inspired-mick-pearces-green-buildings>>. Acesso em: 10 de novembro, 2019.

HARGROVES, K.; SMITH, M. **Innovation inspired by nature: Biomimicry. 2006. 4 f.**

HOLCOMB, M.; COHEN, A.; GABITOV, R.; HUTTER, J. **Compositional and morphological features of aragonite precipitated experimentally from seawater and biogenically by corals. 2009.**

HOLCOMB, M. **Coral calcification: insights from inorganic experiments and coral responses to environmental variables.** 2010.

LARUCCIA, M. **Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil.** 2014. 16 f.

LARKIN, A. **Environmental debt: the hidden costs of a changing global economy.** 1. ed. Nova Iorque: Palgrave Macmillan, 2013.

MACARQ. **Arquitetura Biomimética: Aprendendo com a natureza.** 2018. Disponível em: <<https://mac.arq.br/arquitetura-biomimetica-aprendendo-com-natureza/>>. Acesso em 16 de outubro, 2019.

MARQUES, J.; OLIVEIRA, A. **Aplicações da biomimética como fonte inovadora e revolucionária.** 2017. 10 f.

MARTINS, R. **Biomimética no projecto de estruturas espaciais.** Dissertação (Mestrado) para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil Estruturas e Geotecnia. Lisboa, maio 2012.

MEYERS, M.; LIM, C.; NIZAM, B.; TAN, E.; SEKI, Y.; MCKITTRICK, J. **The role of organic intertile layer in abalone nacre: Materials Science Engineering.** 2009.

MICK, P. **Eastgate Center.** 2016. Disponível em: <<https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>>. Acesso em: 28 de outubro, 2019.

MOTTA, S.; AGUILAR, M. **Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações.** 2009. 36 f.

OGLIARI, A.; MELO, L. **A biomimética no desenvolvimento de produtos: a relação entre forma e função para obtenção de leiautes iniciais.** 2015. 18 f.

PAEVERE, P.; BROWN, S. **Indoor Environment Quality and Occupant Productivity in the CH2 Building: Post-Occupancy Summary Report.** March, 2008.

RODRIGUES, A. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. 2017. 46 f.

ROTH, C.; GARCIAS, C. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. 2009. 18 f.

SANTOS, J. **Biomimetismo: Como imitar a natureza na Arquitectura**. 2009. 186 f.

SOARES, T.; ARRUDA, A.; HARTKOPF, C.; BARBOSA, J.; BALESTRA, R. **A relação entre a biomimética e a geodésica de buckminster fuller no planejamento de construções sustentáveis**. 2016. 11 f.

SBPMAT. **Entrevista sobre materiais biomiméticos com o engenheiro e cientista de materiais brasileiro André Studart**. 2017. Disponível em: <<https://www.sbpmat.org.br/pt/entrevista-sobre-materiais-biomimeticos-com-o-engenheiro-e-cientista-de-materiais-brasileiro-andre-studart/>>. Acesso em: 19 de novembro, 2019.

SPADOTTO, A.; NORA, D.; TURELLA, E.; WERGENES, T.; BARBISAN, A. **Impactos ambientais causados pela construção civil**. 2011. 8 f.

SEIFFERT, M. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. São Paulo: Atlas, 2010.

SENGE et al. **Learning for sustainability**. Cambridge: SoL (Society for Organizational Learning Inc.), 2006.

SENGE, P. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. Rio de Janeiro: Best Seller, 2009.

SUSTENTARQUI. **Biomimética: Arquitetura Hotel Votu – Bahia**. 2019. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/biomimetica-arquitetura-hotel-bahia/>>. Acesso em: 23 de novembro, 2019.

TECHIO, E.; GONÇALVES, J.; COSTA, P. **Representação Social da Sustentabilidade na Construção Civil: a visão de estudantes universitários**. 2016. 19 f.

TORGAL, F.; JALALI, S. **Materiais Biomiméticos: materiais de construção inspirados na natureza.** Universidade do Minho. 7 f.

VYGOTSKY, S. **Aprendizagem e desenvolvimento intelectual na idade escolar.** In: Vigotski e Luria. São Paulo: Edusp, 1988. pp.103-117.

ZANGALLI, P. **Sustentabilidade Urbana e as Certificações Ambientais na Construção Civil.** 2012. 13 f.

YAHYA, H. **Biomimetics: Technology Imitates Nature.** Global Publishing. 2006.

