

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA / CAMPUS VILHENA
CURSO DE BACHARELADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

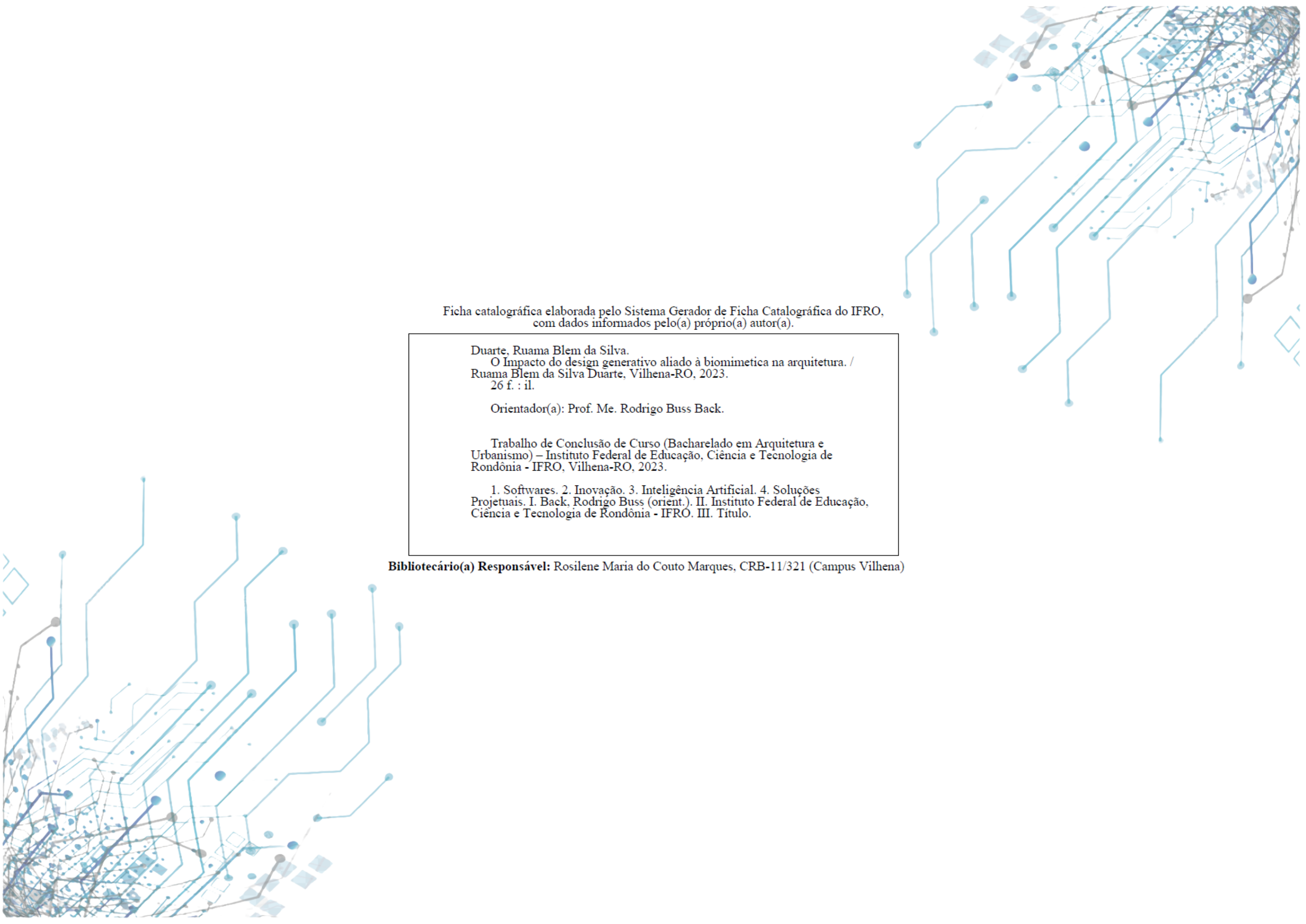
**O USO DO DESIGN GENERATIVO NA INDÚSTRIA DE ARQUITETURA E
DESIGN.**



**O IMPACTO DO DESIGN GENERATIVO ALIADO À BIOMIMÉTICA NA
ARQUITETURA**



**RUAMA BLEM DA SILVA DUARTE / RODRIGO BUSS BACK / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
VILHENA / RO/ 2023**



Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Duarte, Ruama Blem da Silva.

O Impacto do design generativo aliado à biomimética na arquitetura. /
Ruama Blem da Silva Duarte, Vilhena-RO, 2023.
26 f. : il.

Orientador(a): Prof. Me. Rodrigo Buss Back.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e
Urbanismo) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Rondônia - IFRO, Vilhena-RO, 2023.

1. Softwares. 2. Inovação. 3. Inteligência Artificial. 4. Soluções
Projetuais. I. Back, Rodrigo Buss (orient.). II. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Rosilene Maria do Couto Marques, CRB-11/321 (Campus Vilhena)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA - CAMPUS VILHENA

RUAMA BLEM DA SILVA DUARTE

O USO DO DESIGN GENERATIVO NA INDÚSTRIA DE ARQUITETURA E DESIGN

O IMPACTO DO DESIGN GENERATIVO ALIADO À BIOMIMÉTICA NA ARQUITETURA

Trabalho de conclusão de curso entregue ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus Vilhena*.

Para obtenção de título de bacharel em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Buss Back

VILHENA / RO/ 2023/2



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA
Vilhena - Código INEP: 11107804
Rodovia BR 174, KM 3, CEP 76982-270, Vilhena (RO)
CNPJ: 10.817.343/0003-69 - Telefone: 69 2101-0703

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na data 07/12/2023 realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **O impacto do design generativo aliado à biomimética na arquitetura** apresentada pela aluna **Ruama Blem da Silva (2018105070022-9)** do Curso **Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo (Vilhena)**. Os trabalhos foram iniciados às 17:00 pelo Professor **Rodrigo Buss Back** presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Rodrigo Buss Back** (Orientador)
- **Fernanda Oliveira** (Examinadora Interna)
- **Marcus Frederick de Oliveira Carneiro Leão** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

APROVADO

Nota: 80

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Rodrigo Buss Back** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

VILHENA / RO, 07/12/2023

Documento assinado eletronicamente por **Ruama Blem da Silva**, Discente, em 08/12/2023, às 11:53, conforme horário oficial de Rondônia, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Buss Back**, Orientador, em 11/12/2023, às 09:28, conforme horário oficial de Rondônia, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Oliveira**, Examinador Interno, em 11/12/2023, às 15:02, conforme horário oficial de Rondônia, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **MARCUS FREDERICK DE OLIVEIRA CARNEIRO LEÃO**, Examinador Externo, em 13/12/2023, às 17:40, conforme horário oficial de Rondônia, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço imensamente aos meus familiares, cujo apoio incondicional tem sido fundamental em todos os momentos. Suas palavras de encorajamento, amor e suporte foram a força motriz que impulsionou minha caminhada.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. Me. Rodrigo, pela sua orientação, paciência e dedicação ao longo deste trabalho. Seu conhecimento, insights e orientações foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

Desejo agradecer a todos os amigos e colegas que estiverem ao meu lado, compartilhando conhecimentos, experiências e momentos inesquecíveis. Suas amizades e parcerias foram valiosas e me incentivaram a alcançar meu potencial máximo.

Também sou grata a todos os professores e mentores que me guiaram e inspiraram ao longo desta jornada acadêmica. Seus ensinamentos e orientações foram essenciais para o meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional.

Por fim, gostaria expressar minha sincera gratidão a todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Suas palavras, apoio e encorajamento foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

A todos vocês, o meu mais profundo agradecimento!.

SUMÁRIO

O USO DO DESIGN GENERATIVO NA INDÚSTRIA DE ARQUITETURA E DESIGN.

RESUMO.....	08
METODOLOGIA.....	08
1.INTRODUÇÃO.....	09
2.REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	09
2.1.CONCEITO DE DESIGN GENERATIVO.....	09
2.2.SOFTWARES.....	10
2.3.ESTUDO DE CASO.....	12
3.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	13
3.1.USO DOS SOFTWARES.....	14
4.CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	15

O IMPACTO DO DESIGN GENERATIVO ALIADO À BIOMIMETICA NA ARQUITETURA.

1.INTRODUÇÃO.....	17
2.REFERENCIAL TEORICO.....	17
2.1.BIOMIMETICA NA ARQUITETURA.....	17
2.2.BIOMIMETICA E DESIGN GENERATIVO.....	18
2.3.VANTAGEM NA PRATICA BIOMIMETICA.....	19
2.4.DESVANTAGEM NA PRATICA BIOMIMETICA.....	19
2.5.ESTUDO DE CASO.....	20
2.5.1.ARQUITETURA E ESTÉTICA SUSTENTAVEL.....	21
3.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.CONCLUSÕES FINAIS.....	23
REFERENCIAS.....	25
REFERENCIAS.....	26



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA / CAMPUS VILHENA
CURSO DE BACHARELADO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**O USO DO DESIGN GENERATIVO NA INDÚSTRIA DE ARQUITETURA E
DESIGN.**

**RUAMA BLEM DA SILVA DUARTE / RODRIGO BUSS BACK / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II
VILHENA / RO/ 2023/2**

RESUMO

O design generativo, uma abordagem inovadora impulsionada por algoritmos e programação visual, destaca-se como uma força transformadora na arquitetura e construção civil. Este estudo buscou aprofundar-se em seus conceitos, metodologia e aplicabilidade, fundamentado por uma revisão bibliográfica que abarcou análises de artigos, teses e livros, proporcionando um embasamento teórico robusto. Ao explorar estudos de caso, foi possível compreender pragmaticamente o design generativo, identificando os desafios enfrentados pelos profissionais na aplicação dessas técnicas inovadoras. A avaliação criteriosa de softwares específicos, como Grasshopper, Lyrebird, Revit+Dynamo, Rosetta, Fusion 360 e Dynamo, culminou na escolha do Revit+Dynamo como a ferramenta mais adequada, dada sua versatilidade, recursos avançados e destacada integração. Em adição, esta pesquisa enriqueceu seu escopo ao explorar a interseção entre o design generativo e a biomimética. Além de buscar eficiência e inovação, a análise aprofundada sobre como a natureza pode inspirar soluções sustentáveis no design e construção ressaltou a importância de incorporar elementos biomiméticos. Ao buscar na biodiversidade e nos padrões naturais, o estudo reforça a biomimética como uma ferramenta essencial para criar ambientes construídos em harmonia com o meio ambiente, promovendo não apenas soluções técnicas, mas uma verdadeira simbiose entre a arquitetura e a natureza.

Palavras-chave: Softwares, Inovação, Inteligência Artificial, Soluções Projetuais.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo adota uma abordagem mista, combinando elementos de pesquisa qualitativa e quantitativa. Inicialmente, conduziu-se uma pesquisa bibliográfica abrangente por meio de fontes como Google Acadêmico, Scielo, Archdaily, revistas universitárias e a Plataforma Sucupira. O objetivo era coletar informações atualizadas sobre o design generativo na arquitetura e construção civil.

A pesquisa bibliográfica abrangeu artigos científicos, teses, dissertações, livros e outras publicações, proporcionando uma compreensão aprofundada do design generativo e suas aplicações. Essa revisão da literatura identificou conceitos-chave, metodologias e melhores práticas relacionadas ao tema.

Em seguida, foram selecionados estudos de casos de projetos que incorporam o design generativo em seus processos de design e posteriormente a biomimética aliada ao design generativo. Uma análise crítica desses estudos buscou compreender as metodologias e abordagens utilizadas, incluindo a escolha de ferramentas de software, fluxos de trabalho e resultados obtidos.

A caracterização da área de estudo envolveu a identificação do profissional Guto Requena, renomado arquiteto que utiliza o design generativo em sua prática e dois estudos de caso que envolve biomimética. O estudo de caso foi conduzido considerando critérios como tempo de atuação e experiência no mercado, destacando a trajetória inovadora de Requena no uso de tecnologias avançadas e os projetos foram escolhidos com base no seu estudo de soluções projetuais envolvendo a natureza.

A análise dos softwares de design generativo foi realizada com base em critérios como facilidade de uso, recursos disponíveis, custo e suporte ao usuário. Essa avaliação incluiu testes práticos, consultas a documentos oficiais e análises comparativas.

O estudo também abordou os impactos sociais e econômicos da utilização do design generativo na arquitetura e construção civil. Exploraram-se as vantagens, desafios e as perspectivas de desenvolvimento futuro do design generativo, considerando seu potencial transformador na prática de arquitetura e design. Além disso, a pesquisa incorporou a abordagem da biomimética, explorando como a natureza pode inspirar soluções inovadoras e sustentáveis no design arquitetônico.



1. INTRODUÇÃO

O Design Generativo é uma abordagem que tem ganhado cada vez mais espaço na indústria da arquitetura e do design. Conforme descrito por Mitchell (1996), em meados de 1975 a 1978, foi introduzida uma primeira abordagem do Design Generativo, a qual vem crescendo em popularidade na indústria da arquitetura e design. Segundo a definição de Mitchell, os sistemas de design generativo são dispositivos capazes de gerar soluções potenciais para um problema específico (MITCHELL, 1975 *apud* CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020).

No entanto ele só se tornou amplamente documentado, no início dos anos 80, quando as ferramentas *CAD (Computer Aided Design)* e Modelagem de Informações de Construção (*Building Information Modeling - BIM*) se tornaram disponíveis no mercado (CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020). Trata-se de um processo de criação que utiliza algoritmos e inteligência artificial para gerar soluções de design que seriam difíceis ou impossíveis de serem desenvolvidas manualmente (FISHER e HERR, 2001).

Em sua prática, o arquiteto ou designer irá definir parâmetros e o software irá realizar simulações de modelagem, criando então várias possibilidades simultaneamente.

Desse modo, percebe-se o uso de algoritmos, que são uma sequência de instruções precisas que dizem o que o computador deve fazer (DOMINGOS, 2017), no design tem revolucionado a forma como as empresas desenvolvem os produtos, gerando soluções eficientes e personalizadas para as necessidades dos usuários. O processo de design generativo permite que as empresas testem e avaliem os seus produtos em um curto espaço de tempo, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam funcionais e econômicas (CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020).

Adicionalmente, a utilização do design generativo pode contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas de criação, tendo impactos positivos em outras áreas, como a engenharia e a ciência da computação. Essa abordagem pode também tornar a prática de arquitetura e design mais eficiente e acessível para empresas e profissionais, aumentando a competitividade do mercado (HERR, 2002).

Embora utilize algoritmos e regras pré-estabelecidas para gerar soluções, sendo elas diferentes layouts, limitação de altura, materiais sustentáveis e estilos, um problema nesse sistema é a falta de controle humano sobre o processo de criação, o que pode resultar em soluções consideradas “impessoais” ou “sem alma”, sem levar em conta o toque pessoal do arquiteto ou designer (HERR, 2002).

Essas soluções podem ser vistas como carentes do toque pessoal e da sensibilidade artística que um arquiteto ou designer pode imprimir em seu trabalho, resultando em projetos que podem parecer esteticamente vazios ou desprovidos de uma conexão emocional com o usuário final. Portanto, é essencial considerar cuidadosamente o equilíbrio entre o uso dessa ferramenta generativa e intenção humana para garantir que as soluções resultantes possuam não apenas eficiência e funcionalidade, mas também uma identidade singular e uma experiência significativa para os usuários.

Ademais, o uso do design generativo pode levar a desigualdades sociais, já que nem todas as empresas ou profissionais têm acesso às ferramentas e tecnologias necessárias para utilizá-lo. Isso pode gerar um aumento da divisão entre empresas de maior e menor porte, o que pode ter impactos negativos na competitividade do mercado. Além disso, há a problemática da necessidade de capacitação e adaptação dos profissionais da área para utilizar essas novas tecnologias (HERR, 2002).

O uso de sistemas generativos requer conhecimento em sistemas emergentes, gramáticas generativas, algoritmo de produção, modelagem de enxame e auto-organização (MARTINO, 2015). Entender como o design generativo funciona e como ele pode ser aplicado na prática para preparar os futuros profissionais de arquitetura e design para as demandas do mercado atual e futuro (HERR, 2002).

No entanto, é importante questionar: de que maneira a análise e aplicação do design generativo na arquitetura e design, considerando suas potencialidades, limitações e impactos, pode ampliar o entendimento e aperfeiçoar o uso dessas técnicas no campo profissional?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITO DE DESIGN GENERATIVO

O termo Design Generativo surgiu após a utilização de mecanismos de Design Computacional na arquitetura. A crescente difusão do design computacional marcou uma revolução nos processos de projetos, que eram considerados tradicionais, baseados em desenhos marcados por tarefas manuais, sendo assim, os algoritmos usados no computador começaram a evoluir (MINEIRO e MAGALHÃES, 2019).

Em 1963, Ivan Sutherland apresentou no Massachusetts Institute of Technology (MIT), como parte de seu PhD, um programa de edição chamado Sketchpad, que foi considerado um sistema tecnológico que iria substituir o CAD (MINEIRO e MAGALHÃES, 2019). Esse sistema não permitia apenas a automatização dos desenhos, mas também suas configurações sobre relações paramétricas e geometria, usando um sistema

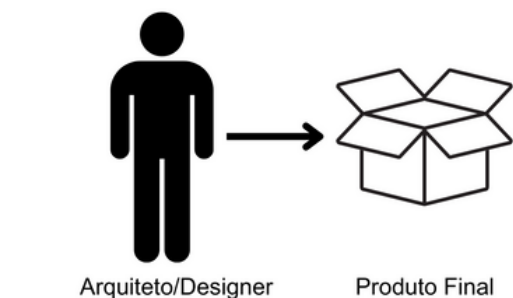
GUI (Graphical User Interface), um sistema que interage com o usuário visualmente, incluindo elementos como menus, ícones e janelas de navegação.

Sistemas com algoritmos já estavam sendo utilizados para aprimorar os padrões de localização de instalações de fábricas. Foi nesse contexto que, nos anos.

De 1975 a 1978, Mitchell introduziu a abordagem do Design Generativo, que consiste em um sistema capaz de gerar soluções potenciais para um problema específico. Somente no início dos anos 80 é que os sistemas CAD e BIM começaram a ser comercializados, e nessa mesma época, surgiram softwares com simulações de desempenho de edifícios (CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020).

Para facilitar o entendimento do conceito de design generativo, Fisher e Herr propuseram os seguintes modelos explicativos: a Figura 01 e a Figura 02.

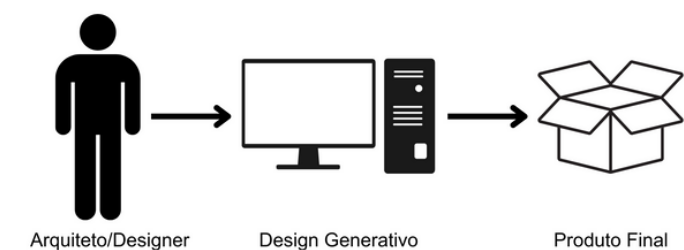
Figura 01: Abordagem de desenho tradicional.



Fonte: Fisher e Herr (2001), adaptado pelo autor, 2023.

O desenho tradicional (Figura 01) apresenta um exemplo de projeto que foi concebido por meio de desenhos manuais. Nessa abordagem, o arquiteto tem controle total sobre o processo de criação, utilizando seu conhecimento técnico e criatividade para desenvolver soluções para os desafios apresentados pelo projeto.

Figura 02: Abordagem de desenho generativo.



Fonte: Fisher e Herr (2001), adaptado pelo autor, 2023.

O desenho generativo (Figura 02) mostra um exemplo de projeto criado por meio de algoritmos e software de design generativo. Nessa abordagem, o arquiteto estabelece parâmetros iniciais para o projeto e o software gera soluções de forma autônoma, utilizando uma lógica de processamento baseada em regras matemáticas e estatísticas. O resultado final é uma solução que pode ser customizada e refinada pelo arquiteto de acordo com suas necessidades específicas.

Em seu artigo “Ensinar Design Generativo” (2001), Fisher e Herr definiram o design como um processo árduo, no qual o designer não interage diretamente com os materiais, mas sim por meio de um sistema generativo. A concepção de designers generativos não está limitada a algumas ferramentas, embora eles comentem que o computador serviu muito bem a essa função. Algoritmos usados para esse tipo de modelos bidimensionais e tridimensionais, podendo ser dinâmicos ou estáticos, tendem a ter uma diferença notável no design produzido pelo CAD ou por algum algoritmo.

O sistema generativo tem sido mais amplamente aplicado na parte conceitual dos projetos, visto que é nesta fase que há maior dificuldade em definir soluções criativas (KRISH, 2011). O design generativo tem sido uma ferramenta poderosa na arquitetura e no design para a exploração de formas complexas que seriam difíceis de obter por meio dos métodos tradicionais, utilizando algoritmos. Consequentemente, várias ferramentas foram desenvolvidas com o objetivo de permitir que os usuários criem seus próprios métodos de uso. No entanto, muitas dessas ferramentas limitam o usuário a linguagens de programação inadequadas ou restringem o seu uso a apenas uma ferramenta (CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020).

O design generativo tem causado um impacto significativo nas áreas de arquitetura e design. Com a ajuda de algoritmos e inteligência artificial, os profissionais destas áreas podem explorar uma ampla gama de possibilidades de design e encontrar soluções inovadoras para desafios complexos. Isso tem permitido a criação de estruturas personalizadas de maneira mais rápida e eficiente, com um foco maior na sustentabilidade e eficiência energética. Além disso, o design generativo tem o potencial de reduzir o desperdício de materiais e aumentar a precisão na fabricação de peças e componentes, melhorando assim a qualidade e durabilidade das estruturas construídas. Em resumo, o design generativo está revolucionando a forma como os profissionais da arquitetura e design abordam seus projetos e impacta positivamente a forma como construímos nossos espaços e objetos (WILSON e DAUGHERTY, 2018).

2.2 SOFTWARES

O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de softwares cada vez mais avançados e especializados, capazes de ajudar na criação de projetos complexos e inovadores. No âmbito do design generativo, essa realidade não é diferente. A utilização de softwares especializados é crucial para gerar soluções criativas e inesperadas a partir de parâmetros pré-definidos.

A inteligência artificial (IA) está se tornando cada vez mais presente em nosso cotidiano, e está mudando a maneira como as empresas operam. Em vez de substituir completamente os seres humanos, a IA está sendo usada para complementar as habilidades humanas e melhorar a eficiência e a precisão do trabalho. No contexto do design generativo, softwares especializados são capazes de auxiliar na criação de projetos complexos e inovadores, gerando soluções criativas e inesperadas a partir de parâmetros pré-definidos. Com a capacidade de processar grandes quantidades de dados e identificar padrões que os seres humanos podem perder, a IA pode ser utilizada para aprimorar a criatividade e eficiência dos designers humanos (WILSON e DAUGHERTY, 2018).

Além disso, a colaboração entre humanos e IA pode resultar em soluções ainda mais eficientes e inovadoras. Ao trabalharem juntos, seres humanos e IA podem aproveitar ao máximo suas habilidades únicas para produzir soluções criativas e eficazes. Em vez de competir, a IA e os seres humanos podem colaborar e complementar uns aos outros (WILSON e DAUGHERTY, 2018).

Essa colaboração entre humanos e IA é possível graças aos softwares e que integram os dois e permitem que eles trabalhem juntos, a impressão 3D é outra área que a colaboração entre humanos e IA é cada vez mais comum. Por meio da modelagem em software de CAD e design generativo, a IA pode auxiliar na otimização de projetos de impressão 3D (SILVA et al., 2020).

O Quadro 01 fornece uma visão geral de alguns softwares utilizados no design generativo e unem-se perfeitamente com a impressão 3D, destacando suas finalidades específicas. Essas ferramentas são essenciais para os profissionais que desejam explorar o potencial do design generativo na arquitetura, no design de produtos e em outras áreas afins.

Com a evolução da tecnologia, temos acesso a uma grande variedade de softwares de design generativo, como o Grasshopper, Lyrebird, Dynamo e Rosetta, que possibilitam a aplicação do design generativo na arquitetura e no design.

Esses softwares permitem aos profissionais explorar uma ampla gama de possibilidades de design e encontrar soluções inovadoras para desafios complexos, além disso, os processos de criação são acelerados, permitindo a produção e foco na sustentabilidade.

Com o uso mais comum da impressão 3D, através dos softwares Ultimaker Cura, Sketchup e Simplify3D, que permitem a criação de modelos digitais de objetos tridimensionais e sua impressão física em uma impressora 3D.

A capacidade de imprimir objetos tridimensionais a partir de modelos digitais permite a criação de formas e estruturas complexas que seriam difíceis ou impossíveis de serem construídas com métodos tradicionais (COELHO, 2020). A impressão 3D também tem o potencial de reduzir o desperdício de materiais e aumentar a precisão na fabricação de peças e componentes, melhorando assim a qualidade e durabilidade das estruturas construídas. Combinada com o design generativo, a impressão 3D oferece um potencial ainda maior para a criação de estruturas personalizadas e inovadoras (VANZIN, BASTIANI e ALMEIDA, 2015).

O uso dessas tecnologias na arquitetura e design permitem projetos mais eficientes, uma maior liberdade criativa e uma possibilidade de cada projeto conter sua personalidade.

Alguns projetistas têm se mostrado preocupados com o desenvolvimento computacional na arquitetura, temendo que as máquinas possam substituir as habilidades e tornar ultrapassado. O foco do desenvolvimento da computação é a produtividade, não interferindo na criatividade artística de nenhum profissional (CELANI et al., 2015 apud DA SILVA et al., 2018).

O uso dos softwares na construção civil abre espaço para que os arquitetos e designers possam personalizar seus processos e escolhas, gerando um grande impacto no conhecimento sobre a ferramenta usada (HOLZER, 2015). Os softwares usados devem proporcionar uma sucessão exploratória de design, manipulação e geometria (AISH, 2003 apud DA SILVA et al., 2018). Entretanto a programação em si só é realizada pelos profissionais da área da computação (CELANI et al., 2015 apud DA SILVA et al., 2018).

Quadro 01: Tabela de Softwares para Design Generativo e impressão 3D.

SOFTWARE	DESENVOLVEDOR	ANO	FINALIDADE	TIPOS DE MODELAGEM	RECURSOS DISPONÍVEIS
Grasshopper	Robert McNeel & Associates	2007	Ferramenta de programação visual para design generativo na arquitetura. É disponibilizado como um plug-in, sendo aplicado em CAD Rhinoceros, bastante versátil e pode ser usado em várias áreas. Ferramenta extremamente flexível, pois o usuário pode criar suas próprias definições e algoritmos personalizados.	3D	Plugins e biblioteca de materiais disponíveis por terceiros.
Lyrebird	Descript	2017	Software de modelagem que permite a criação de modelos complexos. Foi criada para transitar entre o Grasshopper 3D e o Revit, ele funciona como um plug-in e sua interface é bem intuitiva, oferece diversos controles de curvatura, suavização de superfície, padrões e texturas. É um software que pode ser usado em várias áreas.	3D	Não possui Plugins e biblioteca de materiais disponíveis. Possui interface intuitiva com controle de curvatura, suavização de superfície, padrões e texturas.
Dynamo	Autodesk	2011	Ferramenta de programação visual para automatização de tarefas em projetos de construção. Ele permite automatizar tarefas repetitivas, criar fluxo de trabalho, manipular dados e interagir com outras ferramentas de software. O Dynamo usa a sua interface baseada em nós, representam ação ou dados, a ligação entre eles é um fluxo de trabalho, ele possui uma integração com o Revit .	3D	Plugins e biblioteca de materiais disponíveis por terceiros.
Rosetta	Autodesk	2020	É uma plataforma de engenharia reversa desenvolvida pela Autodesk, usada para criar modelos de objetos a partir de dados de varredura. O software permite a importação de dados de varredura, incluindo dados na nuvem e imagens de digitalização , criando assim modelos precisos e detalhados, eles podem ser editados e dimensionados e refinados para de adequar às necessidades específicas do projeto.	3D	Não possui Plugins e biblioteca de materiais disponíveis. Importação de dados de varredura e criação de modelos precisos e detalhados.
Fusion 360	Autodesk	2013	É um software de modelagem na nuvem e manufatura de produtos, ele oferece recursos avançados como modelagem de sólidos e superfícies, animações, simulações e análises, possui ferramentas para fabricação, programação, impressão 3D e corte a laser, possui uma abordagem colaborativa e pode ser integrado com outras ferramentas como Autodesk, como o inventor e o AutoCad.	3D	Plugins e biblioteca materiais, desenvolvidos pela Autodesk e por terceiros.
Revit	Autodesk	2021	É um software de modelagem de informações de construção (BIM), ele permite simultaneamente com informações de estruturas, sistemas elétricos e hidráulicos e outros. Uma de suas principais características é que ele é uma ferramenta colaborativa, oferece recursos de simulações e análises. Possui recursos como design paramétrico, design generativo (instalado desde a versão 2021 no Revit) , renderização entre outros.	3D e 2D	Plugins, biblioteca de materiais, extensões de modelagem, ferramentas de análises, biblioteca de objetos paramétricos e texturas.
Ultimaker Cura	Autodesk	2012	Preparação de arquivos para impressão 3D, com suporte a diversas marcas e modelos de impressoras. Ele produz um “fatiamento” de arquivos de modelos 3D para a impressão 3D, é fácil de usar e oferece recursos avançados, como ajuste automático de configurações de impressão com base no material e na qualidade desejada, visualização de tempo real na impressão, ele permite a criação de perfis personalizados de impressão para materiais e geometrias específicas.	-	Suporta vários formatos de arquivo, tem uma gama de materiais pré-configurados e variedades de plugins.
SketchUp	Trimble Inc.	2000	Modelagem 3D e design arquitetônico, o software também possui recurso de renderização de imagens, além de integração com outros softwares como CAD e Ultimaker Cura. Ele tem duas versões disponíveis, o FREE que tem funções limitadas e o PRO que possui mais recursos e funcionalidades.	3D	Biblioteca de materiais e plugins.
Simplify3D	Simplify3D Software.	2013	Preparação de arquivos para impressão 3D, com suporte a diversas marcas e modelos de impressoras, o software permite que o usuário controle diversos parâmetros da impressão como a velocidade, altura de camadas e etc. Uma das suas principais características é o suporte de múltiplas impressoras 3D.	-	Biblioteca de materiais pré-configurados. Controle avançado de parâmetro de impressão.

Fonte: Acervo do Autor, 2023.

2.3. ESTUDO DE CASO

A impressão 3D e o design generativo estão revolucionando a arquitetura e permitindo a criação de estruturas personalizadas de maneira mais rápida e eficiente. O arquiteto e designer brasileiro renomado Guto Requena tem se destacado por sua abordagem inovadora no uso do design generativo em diversas áreas, como arquitetura, design de interiores, moda e arte.

Com o design generativo, Guto Requena tem criado projetos únicos e inovadores que combinam tecnologia, funcionalidade e arte. Alguns dos projetos notáveis incluem a Luminária Life (figura 03), uma peça de iluminação orgânica, dinâmica e design generativo que muda de forma e cor em resposta ao ambiente; o Love Project (figura 05), um trabalho que utiliza algoritmos e inteligência artificial para transformar expressões de amor em formas geométricas, criando objetos personalizados e únicos; e a Cadeira Nôize, uma peça de mobiliário modular que permite uma interação criativa e personalizada do usuário.

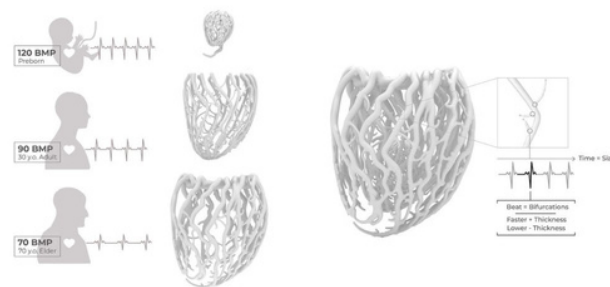
Figura 03: Luminária Life.



Fonte: Guto Requena, 2018.

A luminária Life é um objeto sensível que representa um ciclo de vida. Ela é composta por diferentes camadas e sua sombra única resulta em uma imagem complexa que expressa os caminhos e surpresas da existência. Para a criação da luminária, foram utilizados três arquivos de áudio que serviram como parâmetros para a programação do design generativo, como pode ser observado na figura 04.

Figura 04: Batimentos para Luminária Life.



Fonte: Guto Requena, 2018.

Esses arquivos incluem o volume dos batimentos do coração acelerado de um bebê ainda na barriga da mãe, o do coração de um adulto com 35 anos e o dos batimentos de um idoso de 80 anos. Esses dados foram usados como parâmetros para que o software desenhasse as linhas. A luminária é composta por três volumes sobrepostos, impressos em 3D, o primeiro volume é o do coração de bebê, o segundo volume foi o do adulto e o terceiro volume é do idoso, todos esses três volumes são interconectados.

Já no projeto Love Project (Figura 05), os participantes são convidados a compartilhar uma grande história de amor enquanto uma série de sensores (incluindo um sensor neural, um sensor de batimento cardíaco e um sensor de voz) estão conectados aos seus corpos. Esses sensores coletam dados emocionais durante a narração da história, enquanto uma interface gráfica utiliza esses dados para criar objetos de design, como fruteiras, vasos ou luminárias. Posteriormente, os objetos gerados são fabricados através do processo de impressão 3D.

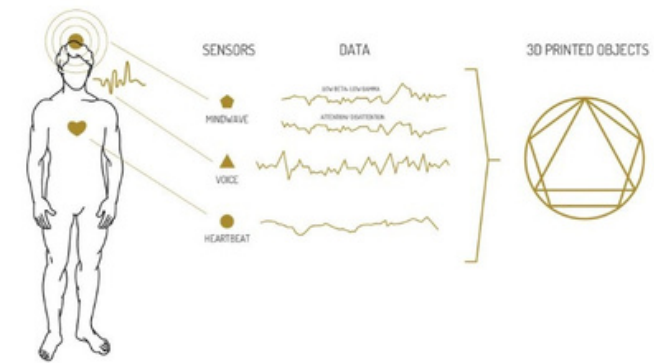
Figura 05: Love Project.



Fonte: Otávio Pacheco e Fausto Noro, 2014.

Esse projeto foi desenvolvido com uma equipe multidisciplinar, num processo colaborativo, ocorreu a coleta de dados para o projeto, nessa etapa as pessoas narram suas histórias de amor. Os sensores em seus corpos coletam os dados, sensor de leitura de atividade cerebral, sensor de batimento cardíaco e sensor de voz, a figura 06 representa visualmente esses dados. Os dados são coletados pela interface gráfica criada pela D3, após isso, esses dados são colocados no software grasshopper e o resultado deste processo são fabricados na impressão 3D.

Figura 06: Love Project.



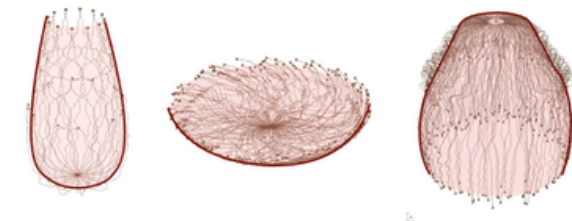
Fonte: Otávio Pacheco e Fausto Noro, 2014.

Após isso, esses dados são colocados no software grasshopper, cada sensor se comporta diferente dentro desse software, o sensor de voz é responsável pela velocidade das partículas, o batimento cardíaco responde pela alteração de espessura e a voz é responsável pela velocidade das partículas, e o resultado deste processo é feito na impressão 3D, criação no software é observado na figura 07.

Outra parte desse projeto foi a criação do aplicativo Ara Pendant, que consiste em um aplicativo em que o usuário grava sua história e ela desenha uma joia que logo após é impressa na impressora 3D, criando uma joia única para alguém, ressignificando o valor do presente.

A sustentabilidade é considerada um ponto importante na parte do aplicativo, tendo em vista que ele produz uma joia única, sendo assim uma herança de família.

Figura 05: Love Project.



Fonte: Otávio Pacheco e Fausto Noro, 2014.

A Girafa Chair, criada por Lina Bo Bardi, Marcelo Ferraz e Marcelo Suzuki, foi fielmente reproduzida em uma plataforma digital 3D a partir de seu modelo físico. Através do uso da linguagem Processing e uma programação computacional do Estúdio Guto Requena, as cadeiras Nôize foram criadas a partir de um modelo digital que foi deformado pela fusão com arquivos de áudio coletados na região da Rua Santa Ifigênia, no Centro de São Paulo.

O resultado é uma cadeira-manifesto que, além de oferecer uma experiência de sentar, convida à reflexão sobre a cidade e seus ruídos. O arquivo digital resultante foi enviado para uma máquina de impressão 3D

na Bélgica, onde a cadeira foi produzida.

Figura 08: Cadeiras Nóize.



Fonte: Da esquerda pra direita: Tomek Sadurski (2012), Lina [2012] e Sérgio Rodrigues [2012].

A utilização combinada da impressão 3D e do design generativo está transformando o futuro da arquitetura de forma promissora e emocionante. Essas tecnologias estão permitindo a criação de estruturas cada vez mais complexas e personalizadas, ao mesmo tempo em que reduzem o tempo e o desperdício de materiais no processo de construção. Com isso, os arquitetos e designers têm a possibilidade de explorar novas possibilidades e soluções inovadoras, ampliando o leque de opções para a criação de espaços funcionais e esteticamente agradáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O design generativo tem se mostrado uma ferramenta poderosa na prática de arquitetura e design. Através de análise de estudos de caso, é possível perceber que a utilização dessa técnica tem gerado soluções inovadoras e criativas para desafios complexos que muitas vezes seriam difíceis de serem resolvidos com as técnicas convencionais.

Apesar dos benefícios, é importante discutir as implicações sociais e éticas do uso do design generativo. Uma preocupação é a possibilidade de desigualdade no acesso às ferramentas e tecnologias necessárias, o que pode agravar as diferenças já existentes no mercado de trabalho. No entanto, é possível pensar em soluções para minimizar esses efeitos, como a disponibilização de cursos e treinamentos para profissionais de baixa renda.

Ao fornecer cursos e treinamentos para profissionais de baixa renda, é possível capacitar essas pessoas para que adquiram habilidades relevantes e atualizadas, tornando-as mais competitivas no mercado de trabalho. Isso pode incluir programas de capacitação em tecnologia, programação, inteligência artificial, design generativo ou qualquer outra área que esteja em alta demanda.

Ao promover o acesso a esses cursos e treinamentos, é possível nivelar as

oportunidades e reduzir a disparidade de habilidades entre diferentes grupos socioeconômicos. Isso contribui para uma sociedade mais justa e inclusiva, permitindo que pessoas de todas as origens tenham a chance de se beneficiar e se adaptar às mudanças tecnológicas.

Ao capacitar profissionais de baixa renda, também pode-se fomentar o empreendedorismo e a criação de novos negócios. Esses profissionais podem utilizar as habilidades adquiridas para iniciar seus próprios empreendimentos ou participar de projetos colaborativos, impulsionando assim economia e gerando empregos. É importante ressaltar que a disponibilização de cursos e treinamentos não deve incluir aspectos como habilidades socioemocionais, pensamento crítico, resolução de problemas e criatividade.

A automação da parte do processo de design pode levar à redução da demanda por profissionais especializados em determinadas tarefas, o que pode resultar em perda de empregos.

Para minimizar esses possíveis efeitos negativos, é importante promover a democratização do acesso às tecnologias de design generativo, oferecendo recursos para comunidade e profissionais menos privilegiados. Além disso, é necessário fomentar uma cultura de ética e responsabilidade no uso dessas tecnologias, garantindo que elas sejam usadas para benefícios de todos.

O design generativo tem causado impacto significativo nas áreas de arquitetura e design, permitindo aos profissionais explorar uma ampla gama de possibilidades de design e encontrar soluções inovadoras para desafios complexos. Esses desafios complexos referem-se às demandas e problemas enfrentados no campo da arquitetura e do design, que requerem abordagens criativas e soluções eficientes.

Um dos desafios complexos que podem ser abordados com o design generativo diz respeito a projetos de grande escala. A concepção de edifícios ou estruturas complexas envolve considerar diversos fatores, como funcionalidade, estética, eficiência energética, sustentabilidade e integração com o ambiente.

A otimização de recursos, através de algoritmos e simulações computacionais, é possível explorar diferentes configurações e geometrias que reduzem o desperdício de materiais e maximizam a eficiência energética. Isso contribui para práticas mais sustentáveis na arquitetura e no design, considerando a importância da conservação de recursos e da redução do impacto ambiental.

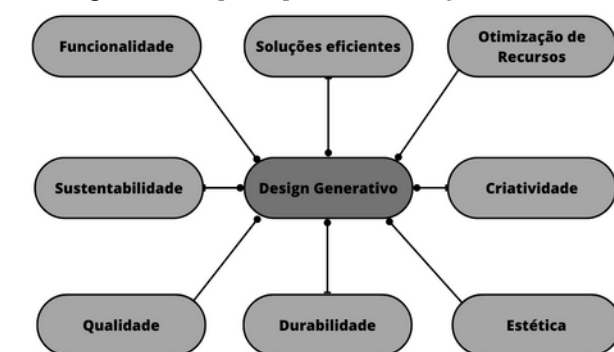
Essa grande vantagem de reduzir o desperdício de materiais e aumentar a precisão na fabricação de peças e componentes, melhorando assim a qualidade e durabilidade das estruturas construídas.

Essa abordagem resulta em estruturas construídas com maior qualidade e durabilidade, promovendo a sustentabilidade e a eficiência na arquitetura e no design.

Ao empregar o design generativo, os profissionais podem criar projetos com um aproveitamento mais eficiente dos recursos, evitando o uso excessivo de materiais e minimizando o descarte desnecessário. Com essa precisão alcançada pelos softwares ocorre a contribuição de redução de erros e retrabalhos durante a fabricação das peças, tendo como resultado peças que tem um encaixe perfeito, integridade e durabilidade da estrutura ali fabricada.

A figura 09 ilustra como o design generativo abrange e integra diversas dimensões essenciais para a criação de projetos e designs impactantes. A figura ressalta a importância e o potencial do design generativo como uma ferramenta poderosa para a criação de projetos que sobressaem as limitações das abordagens convencionais.

Figura 09: Compilado potencial do Design Generativo.



Fonte: Acervo do Autor, 2023.

Assim, o design generativo surge como uma prática inovadora e promissora, oferecendo soluções que combinam criatividade, funcionalidade e sustentabilidade na arquitetura e no design. Ao adotar essa abordagem, os profissionais têm a oportunidade de impulsionar mudanças positivas na indústria, construindo um futuro consciente e resiliente.

Os estudos de caso realizados pelo renomado designer Guto Requena têm demonstrado resultados impactantes e significativos no campo do design. Suas criações inovadoras, como as cadeiras Noizé e a Joia Aurora, são exemplos de como a tecnologia pode ser incorporada de maneira criativa e emocional nos objetos do dia a dia.

A utilização de tecnologias como a impressão 3D e a captura de dados biométricos, como os batimentos cardíacos, revela um novo horizonte de possibilidades no design. As peças esculpidas em 3D não apenas exploram novas formas e geometrias, mas também evocam memórias e emoções, resultando em objetos verdadeiramente únicos e personalizados.

Além disso, os estudos de caso de Guto Requena destacam a importância da relação entre tecnologia e amor no futuro do design. Ao unir elementos tecnológicos com narrativas afetivas, Requena traz à tona uma abordagem que vai além da estética e funcionalidade, enfatizando a conexão emocional entre as pessoas e os objetos que as cercam.

Esses estudos de caso mostram o poder transformador do design e como a tecnologia pode ser uma ferramenta poderosa para criar experiências sensoriais e emocionais únicas. Eles também nos convidam a refletir sobre o papel do designer na sociedade contemporânea, impulsionando a inovação e a conexão humana através de suas criações.

Esses estudos de caso evidenciam o potencial do design como agente de mudanças e inspirações. Eles nos desafiam a repensar o modo como interagimos com os objetos e a valorizar a conexão emocional que eles podem proporcionar. Essas abordagens visionárias de Guto Requena abrem caminho para um novo paradigma no design, onde tecnologia, arte e amor se fundem em busca de um futuro mais humano e significativo.

3.1. O USO DOS SOFTWARES

O avanço tecnológico tem proporcionado benefícios significativos na área de arquitetura e design. Softwares cada vez mais avançados e especializados estão disponíveis para ajudar na criação de projetos complexos e inovadores. A inteligência artificial (IA) está se tornando cada vez mais presente em nosso cotidiano e está mudando a maneira como as empresas operam. Na área do design generativo, softwares especializados são capazes de auxiliar na criação de projetos e inovadores, gerando soluções criativas e inesperadas a partir de parâmetros pré-definidos.

A colaboração entre humanos e IA pode resultar em soluções ainda mais eficientes e inovadoras, permitindo que cada um aproveite ao máximo suas habilidades únicas para produzir soluções criativas e eficazes. A impressão 3D é outra tecnologia que tem gerado um grande impacto na arquitetura e design, ela permite a criação de formas e estruturas complexas que seriam difíceis ou impossíveis de serem construídas com métodos tradicionais, além de reduzir o desperdício de materiais e aumentar a precisão na fabricação de peças e componentes.

A combinação do design generativo com a impressão 3D oferece um potencial ainda maior para a criação de estruturas personalizadas e inovadoras. O uso dessas tecnologias na arquitetura e design permite projetos mais eficientes, uma maior liberdade criativa e uma possibilidade de cada projeto conter sua personalidade. Algumas pessoas podem ter preocupações com o desenvolvimento computacional na arquitetura, mas é

importante lembrar que a programação em si só é realizada pelos profissionais da área da computação, e o foco do desenvolvimento da computação é a produtividade, não interferindo na criatividade artística de nenhum profissional.

Os softwares usados no design generativo devem proporcionar uma sucessão exploratória de design, manipulação e geometria, permitindo a criação de projetos complexos e inovadores. A programação desses softwares deve ser realizada pelos profissionais da área da computação, enquanto os profissionais de design e arquitetura devem ter liberdade criativa para explorar e experimentar as diferentes soluções.

Essa colaboração entre especialistas em computação e profissionais de design e arquitetura é fundamental para o sucesso do design generativo.

Os programadores criam as bases tecnológicas que permitem a geração automática de alternativas de design, enquanto os designers e arquitetos aplicam seu conhecimento e sensibilidade para avaliar e selecionar as soluções mais adequadas.

Essa abordagem combinada resulta em projetos que atendem tanto aos requisitos técnicos e funcionais quanto às expectativas estéticas e conceituais. É importante ressaltar que a liberdade criativa dos profissionais de arquitetura é crucial nesse processo.

Além disso, a utilização dessas tecnologias pode proporcionar um aumento na eficiência e na precisão do trabalho, uma vez que o processo pode ser automatizado e a análise de dados pode ser realizada de forma mais rápida e eficaz. Isso permite aos profissionais dedicarem mais tempo à parte criativa do projeto sem a necessidade de se preocupar com tarefas repetitivas e tediosas.

No entanto, é importante ressaltar que a tecnologia não é uma solução mágica para todos os problemas no campo do design e da arquitetura. O sucesso do uso dessas tecnologias depende da forma como elas são incorporadas ao processo criativo e da capacidade dos profissionais de usá-las de forma adequada.

É necessário que os profissionais estejam sempre atualizados em relação às novas tecnologias e sejam capazes de entender como elas podem ser aplicadas de forma eficaz em cada projeto. A colaboração entre os profissionais e especialistas em tecnologia também pode ser um fator-chave para o sucesso do uso dessas tecnologias. A participação ativa dos profissionais do design e da arquitetura no processo de desenvolvimento tecnológico contribui para que as ferramentas e os softwares atendam melhor às necessidades e aos desafios enfrentados na prática profissional.

Essa colaboração entre os especialistas em tecnologia e profissionais da arquitetura e design promove a personalização e a adaptação das

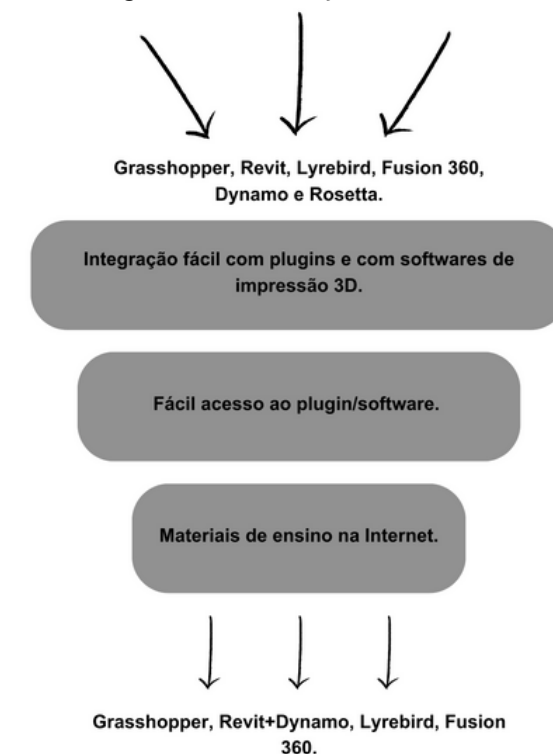
ferramentas de design generativo, permitindo que sejam verdadeiramente úteis e eficazes para a área.

No processo de seleção de software, é essencial realizar uma avaliação cuidadosa das opções disponíveis para garantir que a escolha seja adequada às necessidades e objetivos específicos. Nesse contexto, um funil de seleção pode ser uma ferramenta útil para direcionar e filtrar as opções, levando em consideração critérios-chave de eliminação.

No presente caso, um funil foi desenvolvido para avaliar os softwares Grasshopper, Lyrebird, Revit, Rosetta, Dynamo e Fusion 360, mencionados anteriormente no quadro 01, todos eles estão relacionados com o design generativo, a capacidades e recursos que permitem a criação, manipulação e geração de soluções projetuais de forma automatizada e baseada em algoritmos. O funil teve como critérios de eliminação sendo o preço de aquisição, recursos e materiais disponíveis e facilidade de adquirir.

Através desse processo, buscamos identificar o software mais adequado que atenda aos requisitos necessários e ofereça a melhor combinação de vantagens para os usuários. Vamos explorar o funil de seleção e descobrir qual software se destaca no final dessa análise.

Figura 10: Funil de seleção dos softwares.



Fonte: Acervo do Autor, 2023.

Após essa fase do funil, restam opções promissoras: Grasshopper, Revit+Dynamo e Fusion 360. Após realizar uma análise mais aprofundada dessas alternativas foram atribuídos pontos com base em critérios específicos. Essa abordagem permitirá uma comparação mais precisa e objetiva entre os softwares restantes, ajudando-nos a identificar o mais adequado às nossas necessidades.

Ao atribuir pontos, levaremos em consideração fatores cruciais como a quantidade de recursos e materiais disponíveis, a facilidade de aquisição do software e o preço de aquisição. Cada critério receberá uma pontuação com base em sua importância relativa e impacto na escolha final. Essa metodologia nos guiará em direção a uma decisão informada e embasada, levando em conta as características essenciais para a nossa finalidade. É importante ressaltar que estabelecemos como limite a pontuação de 10 pontos para cada critério usado.

Quadro 02: Fase Final da escolha de software.

CRITÉRIOS	GRASSHOPPER	REVIT+DYNAMO	FUSION 360
Recursos disponíveis	8.5	9.5	7.5
Facilidade de Uso	7.5	8.5	8.0
Curva de Aprendizado	9.0	7.0	8.0
Preço de Aquisição	8.5	9.5	7.0
Pontuação Total	33.5	34.5	31.5

Fonte: Acervo do Autor, 2023.

Analisando os resultados, fica evidente que tanto o Grasshopper quanto o Revit+Dynamo possuem um desempenho excelente em relação aos recursos disponíveis, facilidade de uso e curva de aprendizado e preço de aquisição, sendo que Revit+Dynamo aceita login de estudante. Ambos os softwares oferecem uma ampla gama de recursos, são relativamente fáceis de usar e possuem uma curva de aprendizado gerenciável.

No entanto, com uma pontuação total de 34.5 pontos, o Revit+Dynamo se destaca como o software vencedor nesta análise. Sua pontuação reflete sua capacidade superior de fornecer recursos avançados, facilidade de uso, uma curva de aprendizado gerenciável e um preço de aquisição competitivo, sendo um diferencial o seu uso com o login de estudante feito pela Autodesk. Ao utilizar o Revit+Dynamo como o nosso principal software, temos a certeza de contar com as ferramentas necessárias para explorar soluções criativas, eficientes e de alta qualidade.

4. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Neste trabalho de conclusão de curso, exploramos o impacto do design generativo na arquitetura. Ao analisar as vantagens e desafios dessas tecnologias, assim como os projetos inovadores do renomado arquiteto Guto Requena, pudemos compreender o potencial transformador que elas trazem para o campo da arquitetura.

O design generativo, aliado à impressão 3D, está revolucionando a forma como os arquitetos projetam e constroem. Ao utilizar algoritmos e inteligência artificial, é possível explorar uma ampla gama de possibilidades únicas. Além disso, a fabricação aditiva da impressão 3D permite a construção de estruturas complexas de maneira mais eficiente, reduzindo o desperdício de materiais e os custos de produção.

Nesse contexto, destacamos o arquiteto Guto Requena como um pioneiro no uso do design generativo em seus projetos. Sua abordagem inovadora combina tecnologia, funcionalidade e arte, resultando em espaços arquitetônicos/obras de arte que são verdadeiras manifestações de criatividade e interação. Ao explorar formas complexas e automatizar processos de design, Requena materializa suas ideias visionárias e cria espaços únicos e emocionantes.

No contexto do projeto proposto, o uso do Revit+Dynamo emerge como uma escolha adequada. Essas ferramentas permitem a exploração de novas possibilidades de design, a automação de tarefas repetitivas e a visualização do projeto em um ambiente tridimensional. A integração eficiente entre o Revit e o Dynamo facilita a colaboração entre os membros da equipe, otimizando o fluxo de trabalho e possibilitando a criação de uma estrutura arquitetônica diferenciada.

A escolha do Revit+Dynamo como ferramentas principais do projeto reflete a busca por uma abordagem prática e inovadora, permitindo a aplicação efetiva do design generativo na arquitetura. Espera-se que essa combinação resulte em uma estrutura arquitetônica única, funcional e esteticamente agradável, demonstrando o impacto positivo dessas tecnologias na criação de espaços inovadores.

Em suma, a utilização do Revit+Dynamo no projeto proposto proporciona uma base sólida para explorar o potencial do design generativo na arquitetura contemporânea.

Essas tecnologias estão revolucionando não apenas a forma como os arquitetos projetam e constroem, mas também a maneira como os espaços são experimentados e apreciados pelas pessoas. Com o design generativo e o uso inteligente dos softwares mencionados, é possível criar ambientes arquitetônicos que se adaptam às necessidades individuais, incorporam

elementos de arte e emoção, e promovem uma conexão mais profunda entre as pessoas e os espaços habitados.

Essas ferramentas capacitam os profissionais a explorar e materializar conceitos visionários, transformando a maneira como vivemos, trabalhamos e interagimos com os espaços ao nosso redor.



The background features a complex network of blue lines and dots, resembling a circuit board or a neural network, overlaid on a pattern of light blue hexagons. The lines are more prominent at the top and bottom edges, while the hexagonal pattern is more uniform in the center.

**O IMPACTO DO DESIGN GENERATIVO ALIADO À BIOMIMÉTICA NA
ARQUITETURA**

1. INTRODUÇÃO

A biomimética é derivada das palavras gregas "bios" (vida) e "mimesis" (imitar) (SANTOS, 2010), e exerceu uma influência profunda na evolução tecnológica por milênios, sendo exemplificado pela busca chinesa para criar seda artificial (VINCENT et al., 2006).

Este campo de estudo, que reflete a sapiência inata da natureza, emergiu como uma inesgotável fonte de inspiração e inovação. Na essência da biomimética, encontra-se a contínua exploração por soluções que ecoem os padrões e processos observados na Biologia e na Ecologia, com o propósito fundamental de gerar produtos, processos e designs que sejam tanto eficazes quanto integrados harmoniosamente ao nosso ambiente. Desde a notável disposição das sementes de girassol, seguindo a sequência de Fibonacci, até a complexa simetria hexagonal das colmeias, que é aplicada na criação de painéis de revestimento de alumínio, a presença da Sequência de Fibonacci na natureza é um testemunho da sua influência abrangente e intrigante em padrões e estruturas que encontramos em nosso mundo (PAGANI, Roberto et al.).

Em nossa incessante busca por inovação em projetos e soluções que encarem os desafios nos domínios da engenharia, arquitetura e design, empregamos diversas metodologias e abordagens. Uma das abordagens mais notáveis é a biomimética, que repousa na imitação de elementos naturais para conceber soluções criativas e eficazes (PAWLYN, 2016).

Nesse texto contexto, emerge um elo poderoso entre a biomimética e a arquitetura, onde a busca por designs inovadores e sustentáveis encontram uma aliada na natureza. Através dessa conexão, o design generativo entre em cena, apresentando novas dimensões para a arquitetura. O design generativo, fundamentado em algoritmos computacionais e processos iterativos, permite que arquitetos e designers explorem um vasto espectro de possibilidades e soluções criativas, muitas vezes inspiradas em princípios biomiméticos (SÁ, 2018).

Por meio do design generativo, é possível não apenas replicar a eficiência e a elegância encontradas na natureza, mas também ir além, concebendo estruturas e formas arquitetônicas que otimizam o uso de recursos, adaptam-se ao ambiente circundante e respondem dinamicamente às necessidades humanas. Essa abordagem abre novos horizontes para a concepção de edifícios mais eficazes, ecologicamente conscientes e adaptáveis, exemplificando como a combinação da biomimética com o design generativo está redefinindo a Arquitetura Contemporânea (SÁ, 2018). Este estudo tem como objetivo principal investigar o impacto da integração entre biomimética e design generativo na Arquitetura contemporânea.

A biomimética envolve a busca por soluções inspiradas na biologia e ecologia, enquanto o design generativo utiliza métodos computacionais para otimizar o processo de projeto arquitetônico. Nosso objetivo geral é entender como essa combinação influencia a prática arquitetônica, destacando suas implicações, benefícios e desafios.

Inicialmente, realizamos uma revisão ampla da literatura sobre biomimética e sua relação com o design generativo na arquitetura, identificando princípios, aplicações e exemplos relevantes. Em seguida, analisamos projetos que aplicaram princípios biomiméticos e técnicas de design generativo para criar soluções sustentáveis e eficientes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

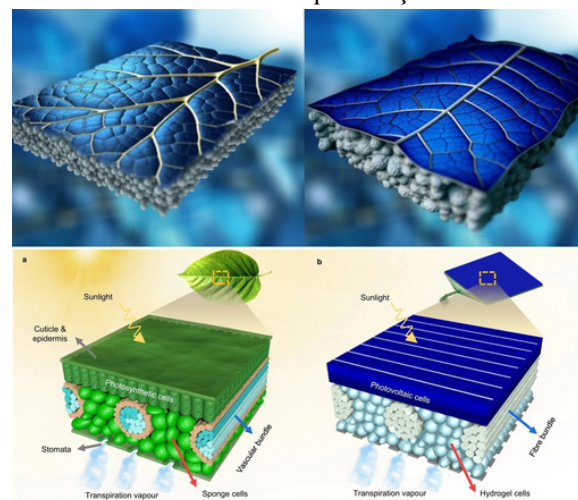
2.1. BIOMIMÉTICA NA ARQUITETURA

A expressão "Biomimética" foi cunhada em 1957 por Otto Herbert Schmitt, um engenheiro biomédico da Universidade de Minnesota, que também é creditado por sua formulação teórica, no entanto, há muito tempo a natureza tem servido como inspiração na criação de uma ampla gama de produtos e inovações humanas (VINCENT et al., 2006).

Pode-se constatar que toda tecnologia criada pelo ser humano encontra algum paralelo na natureza, seja nas máquinas mais simples, como a roda e alavanca, ou nas mais avançadas como computadores e aeronaves (SANTOS, 2010).

A biomimética é uma disciplina que se inspira na natureza para resolver problemas humanos. Ela se baseia em três princípios fundamentais de acordo com Benyus (1997), primeiro a biomimética envolve o estudo detalhado de modelos naturais e de seus processos para encontrar soluções criativas, como o desenvolvimento de células de energia solar inspiradas na estruturas das folhas das plantas.

Figura 01: Estrutura Conceitual e implementação da folha fotovoltaica.



Fonte: Gang Huang (Inovação Tecnológica, 2023).

Ao longo de bilhões de anos de evolução, a natureza desenvolveu padrões ecológicos, incluindo aqueles baseados na sequência de Fibonacci, que servem como critérios para avaliar a eficácia e a sustentabilidade de novas inovações. A biomimética busca aprender com a natureza, aplicando princípios como os da sequência de Fibonacci, para entender o que funciona, o que é apropriado e o que perdura (BENYUS, 1997).

Segundo, a biomimética promove uma mudança de perspectiva, destacando a importância de aprender com a natureza e seus padrões matemáticos, como a sequência de Fibonacci, em vez de apenas extrair recursos dela. Essa abordagem representa o início de uma era na qual a inovação se baseia na compreensão e aplicação dos princípios naturais, como os da sequência de Fibonacci, para criar soluções mais eficazes e sustentáveis (BENYUS, 1997).

Dessa forma, a biomimética busca harmonizar nossas tecnologias e sistemas com a sabedoria da natureza, incluindo os padrões matemáticos, como a sequência de Fibonacci, proporcionando uma abordagem inovadora e sustentável para enfrentar desafios humanos (BENYUS, 1997).

Terceiro, na biomimética, não existe uma abordagem geral estabelecida. As pessoas estão buscando inspiração na natureza, incluindo os padrões da sequência de Fibonacci, mas isso é apenas parte do processo. O desafio é que, ao criar novos sistemas técnicos com base na biologia e na matemática, como a sequência de Fibonacci, é necessário começar do zero, testando sistemas biológicos, como os que incorporam a sequência de Fibonacci, como possíveis protótipos e adaptando-os para a tecnologia. A transição da biologia e dos padrões matemáticos, como a sequência de Fibonacci, para a tecnologia é complexa, exigindo interpretação e tradução.

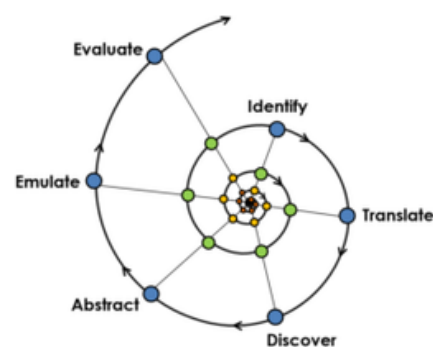
Por fim, a sequência de Fibonacci, ou sucessão de Fibonacci, é uma sequência matemática composta por números inteiros. Normalmente, começa por 0 e 1 e cada termo subsequente é formado pela soma dos dois anteriores, seguindo um padrão de progressão aditiva única. Essa sequência é responsável por gerar formas e arranjos que continuam a nos surpreender, demonstrando sua notável conexão entre a matemática abstrata e a realidade observável (BRASIL PARALELO, 2022). biológicos. O resultado costuma ser surpreendente e o produto final pode ser muito diferente do protótipo biológico original, como no caso de edifícios autolimpantes (VINCENT et al., 2006).

Há cerca de 50 anos, na Rússia, desenvolveu-se um sistema conhecido como TRIZ, uma abordagem para a resolução de problemas, também chamada de 'Teoria da Solução Inventiva de Problemas'.

O TRIZ é notório por sua capacidade de transferir com êxito soluções de um campo da engenharia para outro, o que o torna altamente relevante para a biomimética e sua busca por transferir funções e princípios entre domínios biológicos e arquitetônicos. O TRIZ compreende uma coleção de ferramentas que não apenas auxiliam na definição precisa de problemas, mas também oferecem indicadores para soluções inovadoras. Uma de suas abordagens distintas envolve o uso de pares de características opostas ou conflitantes para caracterizar problemas, com a comparação direta a problemas resolvidos encontrados em patentes. Essa abordagem já analisou mais de três milhões de patentes (VINCENT et al., 2006).

Outras abordagens têm surgido para sistematizar a imitação da natureza. O “Biomimicry Institute” apresenta um método específico para abordar tópicos inspirados na forma geométrica da espiral logarítmica. Essa espiral se desenvolve por meio de ciclos contínuos e repetidos, aumentando em complexidade à medida que progride. O processo pode ser visualizado na figura 01. A própria espiral é uma representação de uma forma recorrente na configuração de galáxias. Ela simboliza um movimento cíclico e organizado, partindo da simplicidade inicial em direção a uma complexidade multiplicada (INSTITUTO BIOMIMÉTICA, 2016).

Figura 02: A espiral do design da biomimética.



Fonte: Adaptado de Carl Hastrich (2005) via The Biomimicry Institute (2016).

A espiral de Design de biomimética no design de projetos. Começa com a identificação das funções desejadas, que são traduzidas para termos biológicos. Em seguida, são descobertas estratégias na natureza para realizar essas funções, que são resumidas em termos técnicos para a aplicação do design. Após a implementação, o projeto é avaliado em relação aos princípios biomiméticos e ao resumo do projeto. Este processo é iterativo e visa criar soluções eficientes e sustentáveis, aprendendo continuamente com a natureza (INSTITUTO BIOMIMÉTICA, 2016).

No contexto científico, a investigação deste tópico é justificada pela carência de publicações nacionais, apesar da sua ampla disseminação internacional desde os anos 1970.

Além disso, esse assunto raramente é incorporado à formação de arquitetos e urbanistas em atividades de ensino, pesquisa e extensão, apesar de sua conexão direta com a sustentabilidade. Do ponto de vista prático, a ampliação do diálogo em torno desse conceito entre professores, estudantes e arquitetos pode resultar na sua aplicação efetiva na concepção de edifícios e planejamento urbano (MOURA, 2021).

Os arquitetos, frequentemente carentes de formação em ciências, e os biólogos, geralmente desprovidos de conhecimentos em design arquitetônico, enfrentam desafios inerentes à integração dessas disciplinas aparentemente díspares. Essa dicotomia resulta em respostas muitas vezes contraditórias quando se trata de abordar questões relacionadas (VITALIS e CHAYAAMOR-HEIL, 2022).

De acordo com os autores, nossas observações, corroboradas por extensos estudos envolvendo estudantes e profissionais, evidenciam que arquitetos frequentemente se equivocam ao superestimar o papel das ciências no processo de design biomimético. De fato, a falta de um método amplamente aceito para orientar o design arquitetônico biomimético é um desafio premente. A ausência de regras práticas claras e uma teoria testável nesta área especificamente na arquitetura, destaca a necessidade urgente de desenvolver uma estrutura sólida para a criação de projetos arquitetônicos que incorporem efetivamente tais princípios (VITALIS e CHAYAAMOR-HEIL, 2022).

2.2. BIOMIMÉTICA E DESIGN GENERATIVO

Acredita-se que, ao longo de bilhões de anos, o processo evolutivo dos organismos no sistema natural tenha desenvolvido estruturas e funções altamente adaptadas a contextos específicos, incluindo considerações de sustentabilidade. Isso ocorre porque os recursos ambientais tendem a ser utilizados de forma equilibrada ao longo do ciclo de vida dos organismos. Com base nessas premissas, os pesquisadores da biomimética defendem essa perspectiva, enfatizam que a imitação da natureza não deve se limitar apenas à reprodução da forma encontrada no ambiente natural. Em vez disso, deve se estender para incluir uma análise profunda dos processos e ecossistemas subjacentes (BENYUS, 2002).

A partir da natureza, podemos extrair tanto estratégias, que se referem a abordagens intangíveis para abordar questões específicas, quanto os resultados concretos da aplicação dessas estratégias, que se manifestam como aspectos tangíveis. As estratégias naturais podem englobar processos, procedimentos ou comportamentos que a natureza utiliza para alcançar determinados resultados, enquanto os resultados físicos podem se manifestar como formas, materiais ou mecanismos observáveis. É crucial

direcionar a atenção para as possíveis interações entre esses três aspectos e o desempenho funcional resultante. Em alguns casos, também é essencial compreender não apenas as estratégias e os resultados, mas também os princípios subjacentes, as leis ou os motivos por trás dos aspectos identificados (SERNA, 2018).

Através da emulação de modelos naturais, combinando princípios geométricos e conhecimento biológico, torna-se viável a criação de estruturas espaciais que apresentam variação estratificada e conexões intrincadas. Do ponto de vista da biomimética e das abordagens geométricas na arquitetura contemporânea, essa abordagem tem ampliado consideravelmente o leque de ideias inovadoras e transcendeu as limitações das capacidades técnicas convencionais. O que antes parecia irrealizável e impossível de ser concretizado se tornou factível graças às tecnologias computacionais, que aplicam os resultados de pesquisas e modelos de processos.

Essas soluções fundamentais foram alcançadas mediante a aplicação da geometria analítica, possibilitando a criação de uma ampla variedade de formas geométricas. Esse método representa o primeiro passo na formação de objetos de maior complexidade (CUCAKOVIC, JOVIC E KOMNENOV, 2016).

O processo generativo está intrinsecamente relacionado a mecanismos naturais, incluindo sistemas caóticos, sistemas que se inspiram na evolução e reprodução algorítmica de organismos, sistemas auto-organizáveis, gramática generativa e crescimento algorítmico. Esses mecanismos naturais desempenham um papel crucial na modelagem e na geração de designs e soluções criativas. Algoritmos na biomimética inspiram-se na evolução, reprodução, sistemas auto-organizáveis, gramática generativa e crescimento algorítmico. Esses elementos permitem a criação iterativa, reorganização dinâmica, aplicação de regras fundamentais para padrões complexos e simulação de crescimento natural (FISHER e HERR, 2001).

Esse processo proporciona uma ampla diversidade e oportunidades para inovação, graças às numerosas combinações possíveis de seus componentes, como organismos, sistemas e comunidades. Essas combinações oferecem alternativas valiosas para desafios de design, mesmo a partir de unidades relativamente simples (Figura 03). Além disso, esse processo amplia nossa compreensão da natureza, não se limitando a imitar seus elementos de forma literal, mas estabelecendo relações baseadas em lógica matemática em códigos específicos. Portanto, é considerado uma ferramenta valiosa para os designers, assim como a linguagem falada permite que os seres humanos expressem e projetem suas ideias sobre o mundo (SÁ, 2018).

Figura 03: Alternativas vcom variações para o sistema generativo.



Fonte: Alice Araujo Marques de Sá, 2018.

É importante observar que os sistemas generativos costumam ser digitais, devido à facilidade de ajustar os parâmetros e à eficiência na produção em larga escala de resultados. No entanto, é relevante destacar que não necessariamente requerem tecnologia avançada, podendo também ser analógicos, contanto que sejam mantidos os princípios orientadores subjacentes (SÁ, 2018).

Nos programas voltados para a criação de arte e design digital generativos, encontramos classificações que estabelecem hierarquias entre os elementos, a saber: entidades, processos e ambiente.

As entidades representam unidades indivisíveis e conceituais que sofrem alterações conforme especificado na programação. Essas entidades podem ser de várias naturezas, abrangendo desde elementos reais e conceituais até simulações, componentes biológicos ou mecânicos (SÁ, 2018).

Os processos são mecanismos de mudança que ocorrem nos sistemas generativos. Eles interagem com as entidades, aplicando operações de transformação. Isso acontece em um ambiente que permite a configuração do sistema como um todo ou processos específicos, como a inicialização de ações, que podem ser cíclicas ou finitas (SÁ, 2018).

Assim, os sistemas generativos ganham forma dentro de ambientes abrangentes (SÁ, 2018).

A arquitetura/Design que se inspira nas funções naturais prioriza o processo de identificação e aplicação de uma ou mais funções extraídas da natureza. Essas funções são utilizadas como diretrizes para a concepção de edifícios que se adequem ao ambiente local, ao clima, ao consumo de energia e a outros fatores, com o objetivo de minimizar impactos negativos ou a poluição ambiental. A abordagem da biomimética começa a desempenhar um papel significativo na tomada de decisões de design,

influenciando aspectos como a forma, a orientação e a escolha de materiais (FERREIRA, 2018).

2.3. VANTAGEM NA PRÁTICA ARQUITETÔNICA

No contexto atual, a biomimética tem avançado e é caracterizada como uma área do conhecimento que busca elaborar soluções para os desafios enfrentados pela humanidade, especialmente na esfera criativa, com base em princípios e estudos provenientes da biologia (SÁ, 2021).

Em diversos cenários, a biomimética se revela como uma ferramenta estratégica de inovação com a capacidade de resolver desafios técnicos e de potencializar o desenvolvimento de produtos humanos. Isso ocorre ao tirar proveito do vasto conhecimento e da expertise acumulada ao longo de milhões de anos nas espécies que sobreviveram graças ao processo de evolução. O resultado dessa abordagem é que o design biomimético pode desempenhar um papel significativo tanto na otimização das características mecânicas e funcionais quanto na aprimoração das qualidades estéticas e formais dos artefatos, resultando em produtos mais eficientes e esteticamente refinados (FERREIRA, 2018).

Os benefícios de tal abordagem são comparáveis à descoberta de princípios ativos, novos materiais, sequências genéticas, estruturas, elementos e comportamentos, todos contribuindo para uma ampla base de conhecimento em biomimética. Isso, por sua vez, impulsiona a criatividade no design, com princípios como preservação ambiental, uso sustentável de recursos e desenvolvimento econômico consciente na vanguarda da inovação biomimética (SÁ e VIANA, 2020).

Figura 04: Projetos de pesquisa baseados nos princípios biológicos das pinhas das coníferas



Fonte: Rasha Mahmoud Ali El-Zeiny, 2012.

Do ponto de vista da gestão, a biomimética traz consigo diversas vantagens. Em primeiro lugar, permite que as empresas concebam produtos mais eficientes e alinhados com as expectativas dos consumidores, que buscam cada vez mais produtos com menor impacto ambiental. Em segundo lugar, as empresas podem otimizar tanto seus produtos quanto seus processos em várias áreas funcionais, resultando em maior

sustentabilidade, redução de custos de produção, preços mais competitivos e uma imagem pública mais favorável para os consumidores. Terceiro, a biomimética melhora os resultados financeiros, aumentando a competitividade da organização. Quarto, é uma abordagem atraente para empresas industriais que priorizam a gestão ambiental e estão envolvidas em pesquisa e desenvolvimento. Por fim, a biomimética é uma área relativamente se explorada no meio acadêmico, oferecendo, assim, vastas oportunidades de pesquisa (MEJIA-VILLA et al. 2023).

Embora haja um aumento notável de materiais e produtos inspirados na biologia, ampliando as opções ecologicamente amigáveis para designers, a integração da biomimética em projetos de grande escala ainda é uma ocorrência rara. Antecipa-se que a biomimética desempenhará um papel mais significativo na arquitetura e no design no futuro, especialmente como uma ferramenta para alcançar a sustentabilidade, abordando áreas como iluminação natural, eficiência energética e redução da pegada ecológica em novos empreendimentos. A profissão de arquitetura e design é notável por sua capacidade de adotar rapidamente abordagens inovadoras e novas tecnologias, especialmente quando os benefícios são evidentes (EL-ZEINY, 2012).

Podemos afirmar que a aplicação da biomimética como abordagem para solucionar desafios tem o potencial de estabelecer um padrão sustentável para espaços interiores, edifícios, comunidades e cidades globalmente. Isso oferece aos arquitetos e outros profissionais de design um horizonte inexplorado de ideias inovadoras para a transformação de ambientes internos (EL-ZEINY, 2012).

2.4. DESVANTAGEM NA PRÁTICA ARQUITETÔNICA

A emulação da natureza tem consideravelmente ampliado o leque de recursos disponíveis para a realização de tarefas que outrora pareciam pertencer ao domínio da ficção científica. O desenvolvimento de mecanismos biomiméticos requer a convergência de diversas disciplinas, recursos e ferramentas, incluindo materiais, atuadores, sensores, estruturas, controle e operações autônomas.

À medida que a tecnologia continua a progredir, antecipa-se um aumento constante no número de mecanismos e funcionalidades inspirados na biologia, capazes de replicar as habilidades de diversas criaturas e organismos. A complexidade envolvida é um fator fundamental na superação dos desafios relacionados à criação dessas tecnologias biomiméticas (COHEN, 2006).

A integração de conceitos de Engenharia e Design Auxiliado por Computador, aliados a designs gerados por algoritmos e inteligência artificial com base em parâmetros definidos pelo projetista, desempenha um papel vital na busca por otimização de recursos e eficiência energética.

No entanto, é fundamental destacar que muitas dessas estruturas apresentam morfologias altamente complexas, resultantes da diversidade de esforços necessários em estruturas diversas. Portanto, a implementação desses projetos frequentemente requer mão de obra especializada, especialmente no que se refere a processos de fabricação avançados, como impressão 3D e manufatura aditiva (ORESTES, 2022).

2.5. ESTUDO DE CASO

Em janeiro de 2006, um concurso internacional de design foi lançado para receber propostas de planos diretores para o projeto Gardens by the Bay. Mais de 70 inscrições de 170 empresas de 24 países, incluindo 35 de Cingapura, foram recebidas. Um júri composto por 11 especialistas locais e internacionais escolheu oito equipes finalistas. Os vencedores, Grant Associates para Bay South e Gustafson Porter para Bay East, ambos do Reino Unido, foram anunciados em setembro de 2006, e a área Bay Central também foi incluída no desenvolvimento do projeto.

Figura 05: Gardens by the Bay.



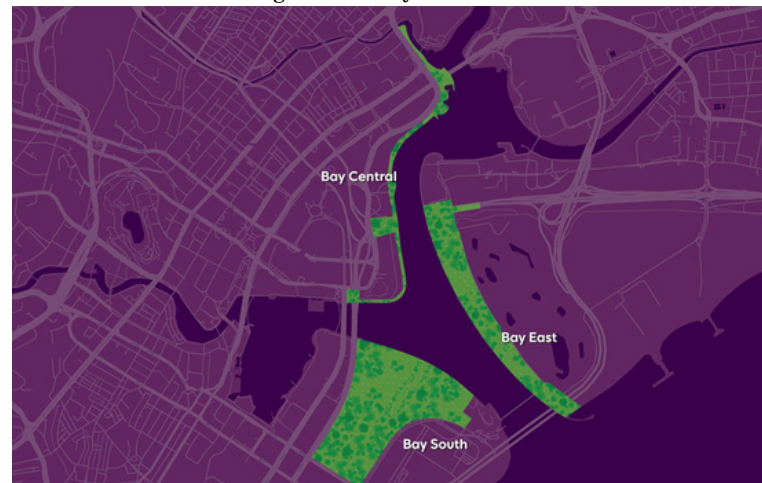
Fonte: Gardens By the Bay, 2012.

O Gardens by the Bay em Singapura, magnificamente inspirado na orquídea, a flor nacional, é um exemplo inspirador de como a biomimética pode informar o design arquitetônico de maneira holística. A estética exuberante das flores de orquídea se manifesta nos jardins, mas a verdadeira inovação reside na gestão eficiente de recursos, ecoando a fisiologia das orquídeas.

Uma característica proeminente é a presença majestosa das 'super-árvores', imponentes estruturas que lembram árvores, cada uma com uma altura impressionante de 25 a 50 metros. Essas estruturas não são apenas elementos visuais marcantes; elas funcionam como jardins verticais. Adornadas com uma profusão de trepadeiras tropicais, epífitas e samambaias, essas árvores são uma simbiose de beleza e funcionalidade.

O Gardens by the Bay é concebido como uma tríade de jardins únicos ao longo da costa: Bay South, Bay East e Bay Central. Cada seção é projetada para atender a diversas necessidades, desde proporcionar beleza natural até oferecer áreas de recreação, contemplação e conexão urbana. A biomimética, neste contexto, vai além da forma e estética, penetrando nos processos adaptativos da flora local para informar uma abordagem integrada e sustentável no design e na gestão desses espaços urbanos.

Figura 06: Três jardins em um.



Fonte: Gardens By the Bay, 2012.

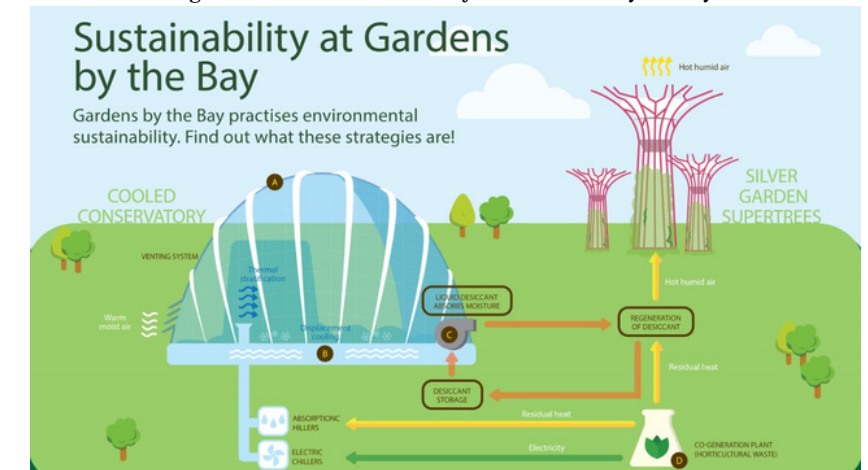
Os Gardens by the Bay consistem em três jardins distintos à beira-mar: Bay South, Bay East e Bay Central. Bay South, o maior dos três, abriu suas portas em 2012 e se tornou um icônico marco de Cingapura. Possui conservatórios premiados e famosas superárvores, sendo o Flower Dome um destaque que abriga exposições florais rotativas. Além de suas atrações botânicas, o local oferece uma variedade de programas e excelente serviço ao visitante, incluindo festivais, concertos, workshops e programas educacionais. Com mais de 87 milhões de visitantes até o momento, os Gardens by the Bay continuam a encantar todos que o visitam. Bay East, o segundo maior jardim, oferece um refúgio sereno no centro da movimentada cidade e proporciona vistas deslumbrantes do horizonte de Singapura. Este espaço, aberto ao público, tem um grande potencial para futuros desenvolvimentos, tornando-se um destaque como jardim à beira-mar no próximo século. Bay Central, por sua vez, serve como elo de ligação entre Bay South e Bay East, com um passeio à beira-mar de 3 km que proporciona vistas espetaculares da cidade.

Compostas por 18 superárvores únicas e dois conservatórios com climatização controlada, as estruturas icônicas dos Gardens by the Bay desempenharam um papel fundamental na construção da identidade de Cingapura como a 'cidade em um jardim'. À noite, os jardins se transformam em um ponto de encontro popular para apreciar o espetacular show de luzes e sons realizado no Supertree Grove. O Flower Dome oferece um ambiente interno para plantas de climas mediterrâneos, enquanto a Floresta Nublada abriga espécies ameaçadas da floresta tropical de montanha.

Além de servirem como locais de lazer para os cingapurianos e visitantes, os jardins também abrigam uma crescente biodiversidade.

Os princípios fundamentais de sustentabilidade ambiental são a base do conceito dos Gardens by the Bay. Um esforço considerável foi dedicado ao planejamento e ao design de sistemas sustentáveis para energia e água no Bay South Garden.

Figura 08: Sustentabilidade no jardim Gardens By the Bay.

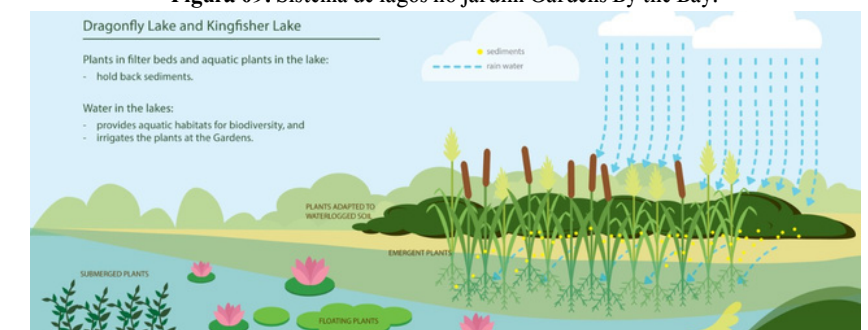


Fonte: Gardens By the Bay, 2012.

Os Conservatórios do Gardens by the Bay são estruturas de vidro que replicam diferentes climas do mundo, abrigando uma variedade de plantas raras e importantes para a conservação. Além disso, são notáveis exemplos de engenharia sustentável, reduzindo o consumo de energia em cerca de 30% em comparação com métodos convencionais de resfriamento. Eles minimizam o ganho de calor solar por meio de vidros especiais e velas retráteis para fornecer sombra. O resfriamento seletivo nas áreas ocupadas é realizado com tubos de água gelada. Além disso, os Conservatórios geram eletricidade de forma neutra em carbono e aproveitam o calor residual usando biomassa. O processo de desumidificação é eficiente e recicla o dessecante líquido, reduzindo o consumo de energia.

Esse conjunto de inovações contribui para a sustentabilidade e eficiência dos Conservatórios do Gardens by the Bay, proporcionando um ambiente ideal para plantas raras.

Figura 09: Sistema de lagos no jardim Gardens By the Bay.



Fonte: Gardens By the Bay, 2012.

O sistema de lagos em Gardens by the Bay é uma abordagem funcional e ecológica que atua como um sistema de filtragem natural para a água captada, oferece habitat para a vida aquática e se conecta ao Reservatório da Marina. Ele melhora a qualidade da água por meio de plantas aquáticas em leitos de entrada e saída e a absorção de nutrientes por ilhas de plantas aquáticas e canaviais. Além disso, o sistema lacustre mantém a biodiversidade e destaca a importância da água limpa no ecossistema. Esse sistema contribui para uma abordagem sustentável e consciente da água nos Jardins.

Figura 10: Superárvores do jardim Gardens By the Bay.



Fonte: Gardens By the Bay, 2012.

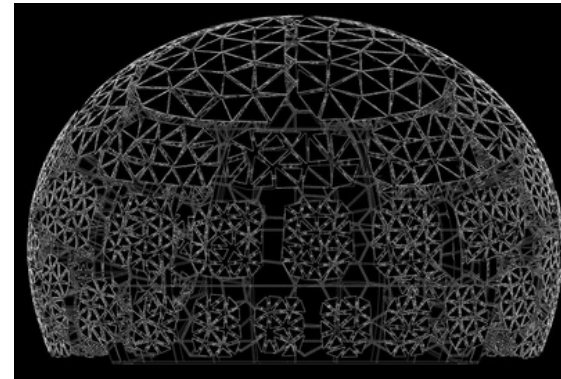
Onze das Superárvores desempenham um papel fundamental na sustentabilidade ambiental do projeto. Equipadas com células fotovoltaicas, essas estruturas inovadoras capturam energia solar para iluminar tanto as próprias árvores quanto os Conservatórios, promovendo uma eficiente integração de design arquitetônico e eficiência energética. Em alinhamento com os princípios de sustentabilidade, as luzes decorativas não essenciais são desativadas à noite, e a iluminação em passarelas e estacionamentos é reduzida durante períodos de menor movimento, contribuindo para a gestão consciente de energia.

Este estudo de caso ilustra a importância de considerar a natureza como mentora e modelo para a criação de espaços urbanos inovadores, ao mesmo tempo em que enfatiza a necessidade de abordagens sustentáveis na arquitetura e no paisagismo. O Gardens by the Bay exemplifica como a harmonia entre o design arquitetônico, a consciência ambiental e a estética visual pode resultar em uma atração que não apenas encanta os visitantes, mas também contribui para um mundo mais sustentável.

Através de seus diversos jardins, ambientes de exposição, espaços de entretenimento e estruturas impressionantes, este maravilhoso jardim botânico vertical representa um testemunho do poder da biomimética na arquitetura e da dedicação contínua de Singapura à inovação e sustentabilidade.

2.5. 1. ARQUITETURA E ESTÉTICA SUSTENTÁVEL

Figura 11: Arquitetura e Estética Sustentável.

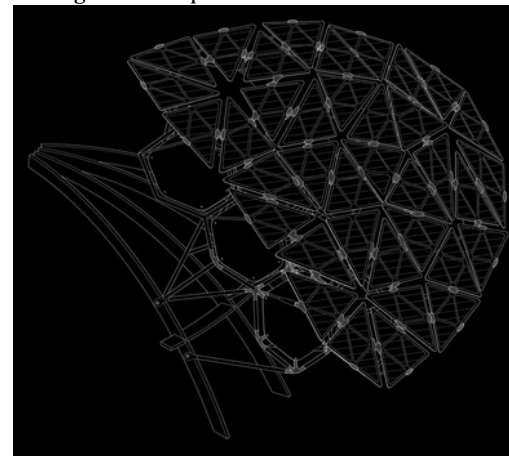


Fonte: Sabin Design Lab.

O Sabin Design Lab tem se dedicado à pesquisa em sustentabilidade e estética na arquitetura (SAA). O foco dessa pesquisa reside na observação do comportamento dos girassóis em ambientes naturais, incluindo seu mecanismo heliotrópico. O projeto visa desenvolver tecnologias de Coleta de Energia Fotovoltaica Integrada à Edificação (BIPV) por meio do uso de design computacional e impressão 3D. O objetivo principal é criar filtros e painéis altamente personalizados e não padronizados, que compõem sistemas de coleta de energia que realizam o rastreamento da luz de forma não mecânica, adaptando-se às características de cada local.

Mediante a análise do comportamento interno do girassol, o processo de pesquisa modelou esses comportamentos com o intuito de compreender como poderiam ser aplicados analogicamente. O resultado desse trabalho resultou em um conjunto de princípios de design que poderiam ser traduzidos para o desenvolvimento do projeto. Aproveitando a tecnologia de impressão 3D e manufatura digital, esses modelos facilitaram a compreensão de como os sistemas são capazes de incorporar eficazmente a dinâmica da luz e da energia.

Figura 12: Arquitetura e Estética Sustentável.



Fonte: Sabin Design Lab.

O projeto se inicia com a observação de adaptações biológicas, como os mecanismos heliotrópicos presentes nos girassóis e as estruturas de dispersão de luz em plantas Lithops. Esses elementos inspiram a exploração de configurações não convencionais de painéis, visando a otimização do design em termos de eficiência na conversão de energia. A abordagem proposta segue a trajetória solar, reduzindo a necessidade de cerca de 50% de metal estrutural adicional e 30% de cabo de cobre por módulo em comparação com as instalações tradicionais. Isso resulta em uma redução significativa da intensidade de carbono em torno de 15%, principalmente em instalações localizadas no sudoeste.

Figura 13: Arquitetura e Estética Sustentável.

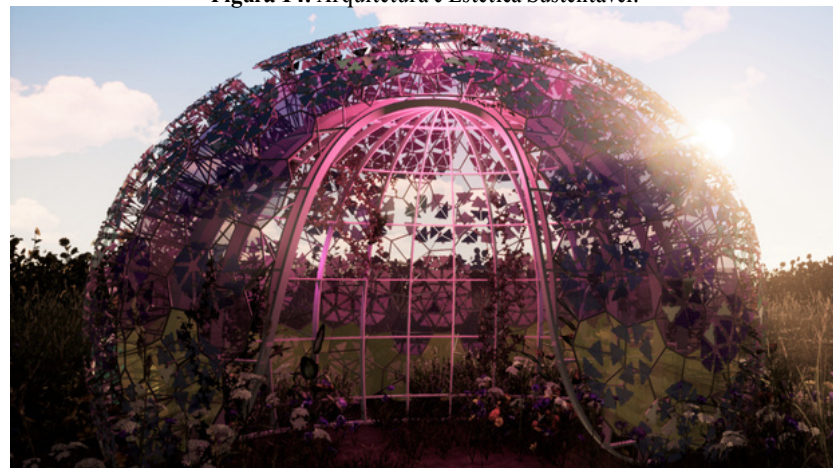


Fonte: Sabin Design Lab.

Com a biomimética como guia inspirador, este projeto vai além da eficiência energética em larga escala, buscando integrar os princípios biológicos nas soluções do dia a dia. A proposta de substituir os convencionais painéis solares por abordagens não tradicionais destaca a influência da biomimética na estética, harmonizando a geração de energia com o design arquitetônico. Além disso, a pesquisa explora a extensão dessa inovação para abrigos portáteis, introduzindo uma "pele" inspirada na natureza capaz de coletar energia solar. Essa aplicação versátil não apenas exemplifica a eficiência biomimética, mas também oferece soluções práticas e esteticamente agradáveis para iluminação e estações de carregamento em ambientes diversos.

Ao priorizar não apenas a maximização da eficiência energética, mas também a fusão de elementos esteticamente agradáveis, o projeto reforça a ideia de que a inspiração na natureza não se limita à funcionalidade, mas abraça a beleza e a forma em igual medida. Essa abordagem transformadora não apenas atende a necessidades práticas, mas também eleva a biomimética como uma ferramenta de design capaz de integrar-se perfeitamente ao ambiente construído.

Figura 14: Arquitetura e Estética Sustentável.



Fonte: ArchDaily, 2023.

Essa abordagem engloba a visualização e simulação de conjuntos de dados espaciais complexos e aborda uma variedade de questões relacionadas a artesanato, fabricação e produção em diversos sistemas de materiais. Esses sistemas englobam tecidos, malhas e trançados, prototipagem rápida e cerâmicas produzidas por impressão 3D, bioplásticos e hidrogéis, além de metais cortados por jato de água.

Figura 15: Arquitetura e Estética Sustentável.



Fonte: ArchDaily, 2023.

O Sabin Design Lab nos mostra como podemos aprender com a natureza para desenvolver tecnologias inovadoras que são tanto eficientes quanto esteticamente agradáveis.

Em um mundo que enfrenta desafios ambientais crescentes, a biomimética e a pesquisa em sustentabilidade desempenham um papel crucial na criação de um futuro mais verde e promissor. À medida que continuamos a explorar, aprender e aplicar esses princípios, estamos contribuindo para um amanhã mais sustentável e consciente, onde a inovação anda de mãos dadas com a preservação do nosso planeta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por a biomimética estar em um campo interdisciplinar que se inspira na natureza para solucionar problemas e criar inovações, desempenha um

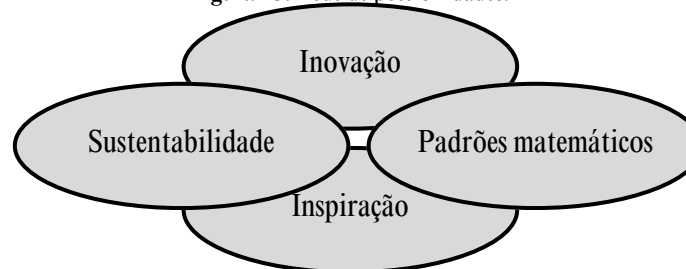
papel cada vez mais significativo na arquitetura e na engenharia. Essa abordagem, que busca aprender com os padrões e princípios encontrados na natureza, oferece um vasto potencial para a criação de soluções mais eficazes e sustentáveis. O conceito de biomimética não é novo, tendo sido cunhado em 1957 por Otto Herbert Schmitt, um engenheiro biomédico da Universidade de Minnesota.

No entanto, a sua relevância cresceu ao longo das décadas, especialmente à medida que a busca por abordagens sustentáveis se tornou uma prioridade global.

Esse aumento de importância ocorreu principalmente devido à crescente ênfase global na busca por abordagens sustentáveis. Ou seja, à medida que a sociedade e a comunidade global passaram a priorizar soluções e práticas que fossem ecologicamente viáveis e amigáveis ao meio ambiente, a biomimética, que busca inspiração na natureza para desenvolver inovações sustentáveis, passou a desempenhar um papel mais proeminente e ser reconhecida como uma abordagem valiosa para enfrentar desafios ambientais e promover a sustentabilidade.

A natureza tem sido uma fonte inesgotável de inspiração para a inovação humana ao longo da história. Desde as máquinas simples, como a roda e a alavanca, até as tecnologias mais avançadas, como computadores e aeronaves, a influência da natureza é evidente em todas as esferas da engenharia e do design. Um exemplo notável é a sequência de Fibonacci, uma sequência matemática composta por números inteiros que desempenha um papel fundamental tanto na matemática abstrata quanto na realidade observável. A sua capacidade de gerar formas e arranjos surpreendentes tornou-se uma fonte de inspiração para arquitetos e designers.

Figura 15: Rede de possibilidades.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

A biomimética, centrada em três princípios fundamentais, começa pelo estudo minucioso de modelos naturais para encontrar soluções criativas, como a otimização das células solares inspirada na estrutura das folhas das plantas. Em seguida, promove uma mudança de perspectiva, incentivando a aprendizagem com a natureza para criar soluções mais eficazes e sustentáveis, transcendendo a tradicional extração de recursos.

No terceiro princípio, destaca-se que na biomimética não há uma abordagem geral estabelecida. Inspirar-se em padrões naturais, como a sequência de Fibonacci, é apenas parte do processo. O desafio consiste em criar sistemas técnicos inovadores a partir da biologia e matemática, começando do zero, testando protótipos biológicos e adaptando-os para a tecnologia. Essa transição complexa requer interpretação e tradução, enfatizando a evolução contínua e a integração dos princípios biomiméticos na prática arquitetônica e em diversas áreas.

No entanto, sua implementação requer uma abordagem cuidadosa e uma integração eficaz com as disciplinas tradicionais, criando um terreno fértil para pesquisas futuras e avanços na interseção entre a ciência e o design.

Ao longo dos bilhões de anos de evolução, a natureza desenvolveu estruturas e funções altamente adaptadas a contextos específicos, considerando a sustentabilidade. Essa adaptação se deve ao equilíbrio na utilização de recursos ao longo do ciclo de vida dos organismos. A biomimética, portanto, defende a imitação não apenas da forma, mas também dos processos e ecossistemas subjacentes da natureza. Isso implica em uma análise profunda das estratégias naturais, dos resultados concretos e dos princípios subjacentes.

A emulação de modelos naturais, combinando princípios geométricos e conhecimento biológico, abre portas para a criação de estruturas espaciais complexas. A biomimética e abordagens geométricas na arquitetura contemporânea têm permitido ideias inovadoras que transcendem as limitações das capacidades técnicas convencionais. Tecnologias computacionais desempenham um papel fundamental nesse processo, possibilitando a criação de uma ampla variedade de formas geométricas e objetos de maior complexidade.

O processo generativo na arquitetura se baseia em mecanismos naturais, como sistemas caóticos (que envolvem comportamentos complexos e imprevisíveis), reprodução algorítmica (a capacidade de criar variações e adaptações por meio de algoritmos), sistemas auto-organizáveis (que podem se organizar espontaneamente) e crescimento algorítmico (o desenvolvimento progressivo por meio de algoritmos). Esses mecanismos desempenham um papel crucial na geração de designs e soluções criativas. Eles oferecem uma ampla diversidade e oportunidades para inovação, ampliando a compreensão da natureza e estabelecendo relações baseadas em lógica matemática em códigos específicos.

Os sistemas generativos podem ser digitais ou analógicos e envolvem entidades, processos e ambientes. As entidades são unidades conceituais que sofrem alterações programadas, enquanto os processos aplicam

operações de transformação nas entidades. Isso acontece em um ambiente que permite a configuração do sistema como um todo ou de processos específicos. A hierarquia entre esses elementos desempenha um papel fundamental na criação de arte e design digital generativos.

A arquitetura e o design que se inspiram nas funções naturais buscam identificar e aplicar funções da natureza em edifícios, considerando o ambiente local, clima, consumo de energia e outros fatores para minimizar impactos ambientais. A biomimética começa a influenciar aspectos como a forma, orientação e escolha de materiais, tornando-se uma ferramenta valiosa na tomada de decisões de design.

Figura 15: Análise SWOT.

FORÇAS 1. Inovação inspirada na natureza 2. Sustentabilidade ambiental 3. Potencial Criativo 4. Aprimoramento estético e funcional	OPORTUNIDADES 1. Aumento da consciência ambiental 2. Integração tecnológica 3. Colaboração Interdisciplinar
FRAQUEZAS 1. Complexidade de implementação 2. Integração limitada em projetos de grande escala 3. Falta de padrões universais	AMEAÇAS 1. Resistência à mudança 2. Custo de implementação 3. Falta de conscientização

Fonte: Acervo do autor, 2023.

Essa análise SWOT ou FOFA destaca não apenas as forças e oportunidades da biomimética na arquitetura, mas também as fraquezas e ameaças que precisam ser consideradas para garantir uma implementação bem-sucedida e uma aceitação mais ampla no setor. A biomimética na arquitetura é uma abordagem inovadora que busca inspiração na natureza para criar soluções sustentáveis e criativas. Apesar de enfrentar desafios como a complexidade de implementação e resistência à mudança, apresenta oportunidades significativas, como o crescente interesse na sustentabilidade e a integração de tecnologias emergentes. A colaboração interdisciplinar surge como uma estratégia promissora. Para o sucesso da biomimética na arquitetura, é crucial investir em educação, desenvolver tecnologias acessíveis e promover a colaboração para superar desafios e aproveitar seu potencial máximo na interseção entre inovação, sustentabilidade e criatividade.

O Gardens by the Bay em Singapura e o estudo de caso do Sabin Design Lab destacam a integração bem-sucedida da biomimética na arquitetura, resultando em inovação sustentável e beleza estética.

O projeto, inspirado na orquídea, vai além da estética ao influenciar a gestão eficiente de recursos. As 'super-árvores' não apenas impressionam visualmente, mas também funcionam como jardins verticais sustentáveis. A subdivisão estratégica dos jardins atende diversas necessidades, refletindo

uma abordagem holística. O projeto é um exemplo notável de sustentabilidade, evidenciado pela eficiência energética nos Conservatórios e na integração de tecnologias ambientais nas Superárvores.

O Sabin Design Lab concentra-se na biomimética, especificamente no mecanismo heliotrópico dos girassóis, aplicando-o na Coleta de Energia Fotovoltaica Integrada à Edificação (BIPV). Inspirado em adaptações biológicas, o projeto busca otimizar a eficiência na conversão de energia, explorando configurações não convencionais de painéis solares. Além de projetos residenciais, a pesquisa considera abrigos portáteis, ampliando as possibilidades de coleta de energia solar. O laboratório abrange diversos materiais, desde tecidos até cerâmicas produzidas por impressão 3D, oferecendo uma visão inovadora da aplicação prática da biomimética.

Essas iniciativas representam passos significativos em direção a um futuro mais verde, onde a inovação se alia à preservação do meio ambiente, transformando não apenas a estética, mas também a funcionalidade e sustentabilidade na arquitetura e no design urbano.

4. CONCLUSÕES FINAIS

É possível destacar o papel fundamental que a biomimética e o design generativo desempenham na vanguarda da inovação e sustentabilidade em diversas áreas, desde a arquitetura até a engenharia. Os estudos de caso apresentados, como os Gardens by the Bay em Singapura e o Sabin Design Lab, evidenciam como a observação e adaptação dos princípios da natureza podem resultar em soluções eficazes, eficientes e esteticamente agradáveis.

A biomimética, ao se inspirar nos mecanismos da natureza, oferece uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios contemporâneos. No contexto da arquitetura, por exemplo, a aplicação desses princípios resulta não apenas em estruturas visualmente impactantes, como as 'super-árvores' dos Gardens by the Bay, mas também em edificações que otimizam o uso de recursos, promovendo a sustentabilidade.

O design generativo, por sua vez, destaca-se como uma ferramenta valiosa na concepção de soluções eficientes e personalizadas. Através da simulação de processos naturais e da utilização de algoritmos, é possível criar projetos que se adaptam dinamicamente às necessidades específicas de cada local, maximizando a eficiência e minimizando o impacto ambiental.

Ambas as abordagens convergem em um ponto crucial: a sinergia entre inovação, funcionalidade e estética. A busca por soluções sustentáveis não é mais apenas uma opção, mas uma necessidade premente. A biomimética e o design generativo oferecem um caminho promissor para atender a essa necessidade, promovendo a harmonia entre o desenvolvimento humano e a preservação do meio ambiente.

Entretanto, é crucial reconhecer os desafios associados a essas abordagens, como a necessidade de mão de obra especializada e a superação de obstáculos técnicos. A integração bem-sucedida desses conceitos exige um compromisso contínuo com a pesquisa, a educação e a colaboração entre diferentes disciplinas.

Em um mundo que enfrenta crescentes desafios ambientais, a biomimética e o design generativo não são apenas conceitos acadêmicos; são ferramentas tangíveis para moldar um futuro mais sustentável e consciente. Ao olharmos para o horizonte da inovação, inspirados pela natureza e impulsionados pela tecnologia, estamos diante de um potencial transformador que pode redefinir a relação entre o homem e o ambiente que o cerca.





AUTODESK. Você sabe o que é design generativo?. Por dentro do Autodesk Brasil, 2016. Disponível em <<https://blogs.autodesk.com/por-dentro-da-autodesk-brasil/2016/07/18/voce-sabe-o-que-e-design-generativo/>>. Acesso em: 30 de abril de 2023.

AUTODESK. Generative design for AEC. Disponível em <<https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/architecture-engineering-construction.>> Acesso em: 30 de abril de 2023.

BARANYK, Isabella. Pavilhão de design generativo da Autodesk reproduz processos de fabricação com pedra e tecidos. ArchDaily Brasil, 2017. Disponível em <[https://www.archdaily.com.br/br/866810/pavilhao-de-design-generativo-da-autodesk-reproduz-processos-de-fabricacao-com-pedra-e-tecidos?](https://www.archdaily.com.br/br/866810/pavilhao-de-design-generativo-da-autodesk-reproduz-processos-de-fabricacao-com-pedra-e-tecidos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all)> Acesso em: 30 de abril de 2023.

BASTIAN, Winnie. Memórias esculpidas em 3D. Casa Vogue, 2014. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Design/noticia/2014/08/memorias-esculpidas-em-3d.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

BASTIAN, Winnie. Para Guto Requena, tecnologia e amor são o futuro do design. Casa Vogue, 2017. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Casa-Vogue-Experience/noticia/2017/10/para-guto-requena-tecnologia-e-amor-sao-o-futuro-do-design.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

CAETANO, Inês; SANTOS, Luís; LEITÃO, Antonio. Computational design in architecture: Defining parametric, generative and algorithmic design. *Frontiers of Research in Architecture*, v. 9, no. 2, p. 287-300, 2020. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263520300029>> Acesso em: 11 de março de 2023.

DA SILVA, Juliano Lima, e outros. Designers do século XXI: programação de software BIM e desenvolvimento de novas competências. In: SIGRADI 2018, XXII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital. 2018, São Carlos. Disponível em <http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2018_1444.pdf> Acesso em: 19 de abril de 2023.

DELAQUA, Victor. Love Project / Guto Requena + Mais D3. ArchDaily Brasil. Disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/628151/love-project-guto-requena-mais-d3?ad_medium=gallery>. Acesso em: 30 de abril de 2023.

DE MARTINO, Jarryer Andrade et al. Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura. 2018. Tese de Doutorado. DOI 10.47749/T/UNICAMP.2015.946623. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/946623>> Acesso em: 17 de abril de 2023.

DOMINGOS, Pedro. A revolução do algoritmo mestre. 5.ed. Manuscrito, 2017. 360p.

FISCHER, Thomas; HERR, Christiane M. Teaching generative design. In: Proceedings of the 4th Conference on Generative Art. Milan: Politecnico di Milano University, 2001. p. 147-160. Disponível em <http://www.generativeart.com/on/cic/ga2001_pdf/fischer.pdf> Acesso em: 13 de março de 2023.

GUTO REQUENA. Guto Requena. Disponível em: <<https://gutorequena.com/>> Acesso em: 27 março 2023.

HELM, Joanna. Cadeiras Noize - Estúdio Guto Requena. ArchDaily Brasil. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-56895/cadeiras-noize-estudio-guto-requena?ad_medium=gallery>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

HERR, Christiane M. Cumincad : CUMINCAD Papers : Paper Ga0213:Generative Architectural Design and Complexity Theory. Scix.net, 2023, Disponível em <<http://papers.cumincad.org/data/works/att/ga0213.content.pdf>>. Acesso em: 13 de março de 2023

HOLZER D. BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age. *International Journal of Architectural Computing*. 2015;13(1):65-82. DOI 10.1260/1478-0771.13.1.65. Disponível em <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/1478-0771.13.1.65?casa_token=5aqArD6ug5MAAAAA:hetJ6aILL8BU51Fpjj6pisGckklu2YkHhMoAKrfOeIJU5GsIs-js210knW41yaFLwoiNNC5Vlioj> Acesso em: 19 de abril de 2023.

JACOB, Paulo. Conheça Aura, joia criada a partir de batimentos do coração. Casa Vogue, 2016. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Design/Objetos/noticia/2016/12/conheca-aura-joia-criada-partir-de-batimentos-do-coracao.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

KRISH, Sivam. A Practical Generative Design Method. *Computer-Aided Design*, vol. 43, no. 1, Jan. 2011, pp. 88–100. DOI 10.1016/j.cad.2010.09.009. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448510001764>> Acesso em: 15 de março de 2023.

MINEIRO, É. F., MAGALHÃES, C. F. Design Paramétrico E Generativo. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 14, no. 2, 13 Dec. 2019, pp. 6–16. DOI 10.11606/gtp.v14i2.151419. Disponível em <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/151419>> Acesso em: 15 de março de 2023.

PETERS, Terri; PETERS, Brady. *Inside Smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational design*. John Wiley & Sons, 2013. Acesso em: 19 de abril de 2023

Quem é Guto Requena. PUCRS Online, 06 de outubro de 2021. Disponível em: <<https://online.pucrs.br/blog/public/quem-e-guto-requena-biografia>>. Acesso em: 27 março 2023.

SILVA, Pedro Coelho, et al. Impressão 3D: Um guia prático. *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, no 11, 2020. p. 84478-84493. DOI 10.34117/bjdv6n11-021 Disponível em <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19270>> Acesso em: 29 de março de 2023.

SPOTIFY. Design com Afeto: uma conversa com Guto Requena, 2021. Disponível em <https://open.spotify.com/episode/1jPZscSMFjKjyKezopxHR1?go=1&sp_cid=7d46698a27a268539ac42950562b2bf3&t=8&utm_source=embed_player_p&utm_medium=desktop&nd=1>. Acesso em: 30 de abril de 2023.

VANZIN, Tarcisio; DE BASTIANI, Jamile; DE ALMEIDA, Lucéli Oliveira. A impressão 3D no ensino de arquitetura. *Direção Editorial*, 2015, p. 115. Disponível em <https://www.pimentacultural.com/_files/ugd/143639_d9ab2f118d7a490eb8fb1b801bdbdb5.pdf#page=116> Acesso em: 29 de março de 2023.

WILSON, H. James; DAUGHERTY, Paul R. Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces. *Harvard Business Review*, 2018, vol. 96, no 4, p. 114-123. Disponível em <<https://hbr.org/2018/07/collaborative-intelligence-humans-and-ai-are-joining-forces>> Acesso em: 19 de março de 2023.

BAR-COHEN, Yoseph. Biomimetics: biologically inspired technology. 2005. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Yoseph-Bar-Cohen/publication/242526086_Biomimetics_biologically_inspired_technology/links/00b7d5332ee6e9eed8000000/Biomimetics-biologically-inspired-technology.pdf> Acesso em 15 de Outubro de 2023.

BENYUS, Janine M. Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza. Editora Cultrix, 2003.

BENYUS, Janine. Biomimétisme: quand la nature inspire des innovations durables. Paris, França: Rue de l'Échiquier, 2002.

BIOMIMICRY INSTITUTE. The power of the biomimicry design spiral. Biomimicry Institute, 2016. Disponível em <<https://biomimicry.org/biomimicry-design-spiral/>> Acesso em 01 de outubro de 2023.

Čučaković, A., Jovic, B., Komnenov, M. (2016) “Abordagem de Geometria Biomimética para Design Generativo”, *Periodica Polytechnica Architecture*, 47(2), pp. <https://doi.org/10.3311/PPar.10082>. Disponível em <<https://pp.bme.hu/ar/article/view/10082>> Acesso em 10 de outubro de 2023.

DE SÁ, Alice AM; VIANA, Dianne Magalhães. Design e Biomimética: uma revisão sistemática da literatura. Disponível em <https://web.archive.org/web/20200315122258id_/https://www.researchgate.net/profile/Alice_Marques_De_Sa/publication/339916397_Design_e_Biomimetica_uma_revisao_sistemica_da_literatura/links/5e6bfb8792851c6ba7009f4c/Design-e-Biomimetica-uma-revisao-sistemica-da-literatura.pdf> Acesso em 12 de Outubro de 2023.

DOS SANTOS, Claudemilson. O desenho como processo de aplicação da biomimética na arquitetura e no design. *Revista Tópos*, 2010, vol. 4, no 2, p. 144-192.

EL-ZEINY, Rasha Mahmoud Ali. Biomimicry as a problem solving methodology in interior architecture. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 50, p. 502-512, 2012. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812031928>> Acesso em 13 de outubro de 2023.

FERREIRA, Gabriel. Observatório da paisagem: uma conexão com a natureza através da arquitetura biomimética. 2018. Disponível em <<http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4675>> Acesso em 11 de outubro de 2023.

Gardens by the Bay / Grant Associates and Wilkinson Eyre Architects. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-61901/gardens-by-the-bay-grant-associates-and-wilkinson-eyre-architects>>. Acesso em 01 novembro 2023.

GARDENS BY THE BAY. Sustainability Efforts. Disponível em: <<https://www.gardensbythebay.com.sg/en/about-us/our-gardens-story/sustainability-efforts.html>>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

Gardens by the Bay. Disponível em: <<https://grant-associates.uk.com/projects/gardens-by-the-bay>>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

How Might Buildings and Their Integrated Materials Systems Behave Like Organisms? In Conversation With Jenny E. Sabin. Disponível em: <https://www.archdaily.com/1005674/how-might-buildings-and-their-integrated-materials-systems-behave-like-organisms-in-conversation-with-jenny-e-sabin?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

Landscape architects, Bath, UK and Singapore, Asia. Disponível em: <<https://grant-associates.uk.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

MEJÍA-VILLA, Andres et al. Training for Sustainability through Biomimicry and Creative Problem-Solving Processes. *Thinking Skills and Creativity*, p. 101359, 2023. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871187123001281>> Acesso em 13 de Outubro de 2023.

MOURA, Pedro Henrique Pereira Costa. Biomimética na arquitetura: origem, fundamentos e experiências recentes. 2021. Disponível em <<https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/4112>> Acesso em 05 de novembro de 2023.

ORESTES, Jéssica Fernandes. Espaço Híbrido de Cultura e Lazer: Analogias Naturais por meio da biomimética aplicada a arquitetura. 2022. Disponível em <<https://repositorio.unisagrado.edu.br/handle/handle/1054>> Acesso em 01 de outubro de 2023.
PAWLYN, Michael. *Biomimicry in architecture*. Routledge, 2019.

PAGANI, Roberto; CHIESA, Giacomo; TULLIANI, Jean-Marc. *Biomimética e Architettura. Come la natura domina la tecnologia*. FrancoAngeli, 2016.

Redação Brasil Paralelo. O que é Fibonacci? Essa sequência está presente no mundo e até em você. *Brasil Paralelo*, 2023. Disponível em <<https://www.brasilparalelo.com.br/artigos/o-que-e-fibonacci>>. Acesso em 01 de outubro de 2023

SAA. Disponível em: <https://www.sabinlab.com/saa?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SÁ, Alice Araujo Marques de. Design, inovação e estratégias naturais: aplicações de princípios biomiméticos e biofílicos em projetos criativos. 2018. Disponível em <<https://bdm.unb.br/handle/10483/22889>> Acesso em 01 de outubro de 2023.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Folha solar de inspiração biológica coleta mais energia e produz água. 11/09/2023. Online. Disponível em <www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=folha-solar-inspiracao-biologica-coleta-mais-energia-produz-agua>. Acesso em 08 de outubro de 2023.

URDINOLA SERNA, Diana Compiladora et al. *Biomimética y diseño*. 2018.

VITALIS, Louis; CHAYAAMOR-HEIL, Natasha. Forcing biological sciences into architectural design: On conceptual confusions in the field of biomimetic architecture. *Frontiers of Architectural Research*, v. 11, n. 2, p. 179-190, 2022. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263521000753>> Acesso em 01 de outubro de 2023.

VINCENT, Julian FV, et al. Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 2006, vol. 3, no 9, p. 471-482.