

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANA CLARA ARAÚJO DO SANTOS
LIA SOARES MELO RODRIGUES

**PROCESSOS DE CONSTRUÇÕES DE NOVOS MATERIAIS NA ARQUITETURA A
PARTIR DE COMPOSTOS ORGÂNICOS**

BRASÍLIA
2021

**ANA CLARA ARAÚJO DO SANTOS
LIA SOARES DE MELO RODRIGUES**

**PROCESSOS DE CONSTRUÇÕES DE NOVOS MATERIAIS NA ARQUITETURA A
PARTIR DE COMPOSTOS ORGÂNICOS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Gustavo Alexandre Cardoso
Cantuária

BRASÍLIA

2021

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer no presente momento aos colaboradores e responsáveis por todo o projeto de iniciação científica, Uniceub enquanto instituição, ao CNPq, e membros organizadores, Karine Caputo e Clara Coelho que sempre estiveram a par de todos os processos e esclarecimentos de dúvidas.

Ao orientador do presente trabalho, Gustavo Alexandre Cardoso Cantuaria por ter seguido sempre confiante e cauteloso, e mais que isso, ter apoiado nossa ideia e tema inicial de pesquisa. Por todas as pessoas que estiveram na linha de frente do PIC, nossas sinceras desculpas por qualquer contratempo e agradecemos por tudo realizado à nosso auxílio.

“Há uma diferença entre projetar para os próximos dois anos e projetar para os próximos 2.000 anos. Em que tipo de mundo queremos viver? Qual é a palavra que queremos ver em dois anos, em 200 anos, em 2.000 anos? Em 200 anos, sim, acredito que podemos projetar arranha-céus biocompatíveis. No curto prazo, acho que veremos menos plásticos, mais biopolímeros no mercado. Os materiais são o gargalo do mercado, sempre foram. O material, a inteligência embutida no material. Manufatura aditiva baseada em voxel - se pudermos fazer isso com biomateriais e biopolímeros, então estamos conversando. Então estamos falando sobre o novo ciborgue, então podemos falar sobre a singularidade entre a era da máquina e o organismo.”

- Neri Oxman.

RESUMO

A nossa inquietação surge a partir de uma pergunta : Como será o processo de produção arquitetônica no futuro, sabendo que este, influencia diretamente nos impactos à natureza e por consequência nos meios sociais e culturais da vida humana? Questionamento que nos leva a avaliar as escolhas feitas atualmente pelo mercado da construção, sobre a forma como fazem os materiais e seus processos construtivos, já que estamos em uma época em que tudo que é material e artificial pode ser modelado para a escala e sofisticação de venda e subitamente considera-se a natureza como um bem ilimitado. Alguns pesquisadores já tinham essa preocupação e começaram a redefinir a relação entre matéria e ambiente explorando maneiras alternativas para construir e fabricar que se aproximem do jeito natural, o qual pensa em crescimento e cultivo ao invés de linhas de montagem. Por meio dessas novas formas de observação das necessidades atuais e futuras pelos pesquisadores, são geradas hipóteses no meio arquitetônico indicando outras formas de fazer o que já é de costume, a partir das quais outras técnicas são desenvolvidas, uma delas é o estudo de como trabalhar novas maneiras de gerar resíduos com retorno efetivo para o meio ambiente, caracterizando uma economia cíclica e levando mudanças para o meio arquitetônico. Assim, a pesquisa buscou através de uma revisão bibliográfica se fundamentar no estudo das técnicas que estão sendo estudadas, avaliadas e aplicadas por pesquisadores, biólogos e empresas que desenvolvem tais possibilidades de construção, adaptação e transformação de materiais nocivos ao meio ambiente para uma forma nova de utilização e aplicação dos mesmos. Estudos comparativos, apresentados em forma de tabela, indicam a viabilidade econômica da inovação dos materiais através da biomimética e de compostos orgânicos para a construção arquitetônica no século XXI.

Palavras-chave: Construção Arquitetônica. Biomimética. Compostos Orgânicos. Inovação dos Materiais.

LISTAS DE FIGURAS, TABELAS, QUADROS, GRÁFICOS, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

Figura 1 - Industrialização. fonte: Google Fotos. Página 12.

Figura 2 - Crianças sentadas sobre destroços. Fonte : Envolverde (<https://envolverde.com.br/problemas-ambientais-de-hoje-provocados-pela-segunda-guerra-mundial/>, acesso em 02/06/2021). Página 13.

Figura 3 - Pavilhão Aguahoja , feito a partir de biocompósitos programáveis. Fonte : Archdaily (<https://www.archdaily.com.br/br/895072/neri-oxman-e-mit-desenvolvem-biocompositos-programaveis-para-fabricacao-digital/>, acesso em 10/08/2021). Página 16.

Figura 4 - Bicho-da-seda. Fonte: (<https://www.designboom.com/technology/the-silk-pavilion-by-mit-media-labs/>, acesso em 17/02/2021). Página 17.

Figura 5 - Silk Pavilion, Fonte: (<https://wyss.harvard.edu/news/spinning-up-a-silk-pavilion/>, acesso em: 14/07/2021). Página 17.

Figura 6 - Diagrama esquemático do cogumelo. Fonte: Google imagens. Página 18.

Figura 7 - Diagrama mostrando a expansão de estrutura de micélio. Mycellium se refere à massa de ramos (a parte vegetativa do fungo). Hyphae é o nome dado aos ramos. Fonte: Biodegradable Architecture (https://curve.carleton.ca/system/files/etd/df91b36d-bbf3-4e19-bcdd-6364f8444eef/etd_pdf/ae5e761461b785c8256e03b9cbef54f8/karimjee-biodegradablearchitecturefiniteconstruction.pdf, acesso em 14/06/2021). Página 19.

Figura 8 - Testes sendo feitos com os tijolos de micélio. Fonte : Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021). Página 22.

Figura 9 - Hy-Fi. Torre de tijolos a base de cogumelos. Fonte: Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021). Página 23.

Figura 10 - Comparação de processos construtivos da construção convencional x a construção com base no micélio. Fonte : Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021). Página 23.

Figura 11 - Paredes com preenchimento com base de micélio. Fonte: Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021). Página 24.

Figura 12 - Percentual de construções em aço. Características do Aço nas Aplicações para a Construção Civil. Página 25.

Figura 13 - Tabela comparativa dos materiais em relação ao micélio. Página 26.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4	METODOLOGIA	11
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5.1	- CENÁRIO HISTÓRICO-ARQUITETÔNICO DA ÉPOCA.....	12
5.2	- UMA REVOLUÇÃO E AMADURECIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS.....	13
5.3	- PROCESSOS DE CRIAÇÕES E SEUS DESDOBRAMENTOS PARA A ARQUITETURA.....	15
5.4	- COMPORTAMENTO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS A BASE DO MICÉLIO.....	18
5.5	- O UNIVERSO DE PHILIP ROSS E A MYCOWORKS.....	19
5.6	- ECOVATIVE DESIGN.....	21
5.7	- TABELAS E GRÁFICOS COMPARATIVOS.....	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
7	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O tradicional cenário da arquitetura em que projetamos e construímos o ambiente construído, continua ditando ainda que por sua grande maioria, no mercado mundial da construção civil e suas matérias primas. Como bem sabemos, os subprodutos do petróleo são sustentados por grandes investidores e fábricas com poderes financeiros consideráveis, o que acaba “monopolizando” pequenos construtores, comerciantes e cultivadores.

A Biomimética, o design digital, estudo e produção de materiais multifuncionais estão demonstrando gradativamente essa inovação no que diz respeito a arquitetura, com o potencial de impacto e a construção de comunidades mais resilientes para as necessidades humanas presentes e futuras, o que acabou despertando um grande interesse em nós, alunas e leigas do tema.

Como delineado por Neri Oxman, arquiteta e designer americana-israelense, professora do MIT Media Lab (Massachusetts Institute of Technology) e uma das autoras como base da pesquisa, Oxman defende o avanço de um novo tipo de ecologia em que a linha de montagem de peças de uso único ambientalmente desconhecidas seja substituída por materiais versáteis ambientalmente informados , produtos e edifícios: uma verdadeira Ecologia de Materiais. A exemplo disso, em seus estudos ela aborda sobre a E. coli, uma bactéria que vive no intestino, que pode ser transformada em açúcar comestível; grama convertida em diesel; e milho transfigurado em plástico.

E claro, não deixando de enaltecer a grandes nomes que estão inclusos nesse meio da Bioarquitetura e de objeto de pesquisa, como: Philip Ross, co-fundador e CTO da MycoWorks; Eddie Pavlu, CEO da MycoWorks ; Michael Pawlyn, fundador da Exploration em 2007, uma empresa de consultoria e prática arquitetônica focada em design regenerativo, Paul Stamets, micologista; Sonia Travaglini, engenheira mecânica pela UC Berkeley e pesquisadora na área de materiais orgânicos; e Munira Z. Karimjee responsável pela tese: Arquitetura biodegradável: construções finitas para futuros sem fim.

O referente tema: Processos de construções de novos materiais na Arquitetura a partir de compostos orgânicos, configura-se atualmente como um tema ainda pouco explorado pelas academias de ensino ou escritórios. O assunto ainda é uma inovação no mercado, o que torna um tanto quanto incomuns, a utilização dessas novas matérias primas, seu processo de produção, aplicabilidade e diversidade nos processos construtivos.

OBJETIVOS

Entender como os processos construtivos funcionam e investigar como podemos modificá-lo a partir da matéria prima para gerar uma arquitetura biodegradável e de baixos impactos para a natureza.

Estudar os métodos de pré e pós-produção de um material com base em um composto orgânico específico. O escolhido será o Micélio (corpo vegetativo da maioria das espécies de fungos) que pode ser caracterizado como a estrutura radicular do cogumelo, assim como o uso do mesmo para a execução de tijolos.

Possibilitar a apresentação desse biomaterial para ser introduzido no mercado arquitetônico elucidando técnicas construtivas, orçamento, tempo de fabricação e consequentemente a eficiência, a viabilidade e as aplicabilidades, tendo como base o estudo das empresas e pesquisadores que já trabalham nessa área.

Investigar e compreender os principais impactos que as técnicas de produção dos tijolos de cogumelos, a partir do cultivo do composto orgânico, pode gerar no ambiente econômico e por consequência qual será o seu possível alcance.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O compilado de informações que foram obtidas é retirado de um documentário da plataforma Netflix, no episódio: Neri Oxman: Arquitetura Biológica. Nele, Neri Oxman, professora de arquitetura do MIT, fala sobre como fazer materiais a partir de compostos orgânicos. Sua ideia redefine a relação entre matéria e meio ambiente, seguindo uma abordagem natural para explorar alternativas de construção e produção. Estamos em uma era em que tudo o que é físico e artificial pode ser modelado com base no tamanho e na sofisticação das vendas. A era industrial introduziu a ideia de uma espécie de linha de montagem que absorveu o hábito de fragmentar produtos, edifícios, roupas e até cidades. E, sem saber, é a combinação desses dois pontos que representa um perigo para a natureza, pois a natureza é considerada ilimitada nesta conferência e deve ser vista como um meio que requer cautela e atenção. Neri sugere que o verbo que ela cunhou, "natureza", não é sobre linhas de montagem, mas sobre crescimento e agricultura. Por meio da observação dessas

novas formas, outras técnicas são desenvolvidas, partindo assim de pressupostos para mostrar formas de produção. Através do documentário, podemos observar que a bioarquitetura é um objetivo possível para integrar diferentes áreas do conhecimento como arte, ciência, engenharia e design, articulá-las e questionar sempre o mundo que nos rodeia, reconhecê-lo e gerar respostas para problemas futuros.

Uma vez obtido esse entendimento, a busca por informações é redirecionada para outros pesquisadores e empresas seguindo a sequência de inferências acima. Philip Rohs é uma dessas pessoas que acredita na mudança de materiais durante a produção. Ele é um pesquisador tecnológico responsável por descobertas alternativas e inovadoras no uso de cogumelos como materiais de construção. Do micélio, que é o nutriente da maioria dos fungos que consiste em hifas agrupadas ou entrelaçadas, esta parte do fungo é muito dura quando seca e pode formar um molde duradouro, resistente à água, ao mofo e ao fogo. Ele pode ser cultivado e facilmente moldado em uma variedade de formas. Além disso, os materiais fibrosos se deterioram com o tempo além da vida útil esperada do produto, ao contrário dos plásticos, que têm uma vida útil de vários milhares de anos.

Assim, ele desenvolveu tijolos, móveis e até tecidos que imitam couro durável. Este é o escritório de vendas Microworks, fundado em 2013 por Ross o seu trabalho começou com uma massa de Reishi, um cogumelo comestível comumente vendido como suplemento dietético que consome resíduos industriais como serragem e palha de milho. Dependendo da espessura e densidade do material, o tempo de incubação e formação pode variar. Outra preocupação com o produto é a disseminação de fungos. Isso é resolvido pelo simples processo de secagem e queima das peças produzidas.

Dentro da empresa, o material vindo do Reishi atende principalmente à indústria da moda e tem colaborado com empresas conhecidas como a Vogue. Na semana de 12 de maio de 2020, na Wear, conferência organizada pela Ellen MacArthur Foundation (EMF) ele se reuniu com as empresas Gap e Thousandfell sobre o potencial dos princípios dos anéis na indústria da moda, em busca de novas formas de diminuir os resíduos ao meio ambiente e gerar uma economia cíclica, tendo como base a reutilização dos restos de matérias.

Fundada em 2006 por Gavin McIntyre e Eben Bayer, a Ecovative é uma empresa que desenvolve biomateriais a partir de subprodutos agrícolas e micélio, esta cria alternativas como as plataformas MycoFlex™, Atlast™ e MycoComposite™. A empresa usa o micélio, que é a estrutura da raiz do fungo, para ligar resíduos agrícolas orgânicos, como aparas de

madeira, para criar um material sustentável, de base biológica e 100% compostável. A empresa pode construir macroestruturas de alto desempenho que se adaptam às propriedades desejadas do micélio, como porosidade, textura, resistência, durabilidade, elasticidade, orientação da fibra e etc.

3 MÉTODO

A metodologia, de natureza aplicada e abordagem qualitativa, empregada na pesquisa, explorou mediante a análises textuais e artigos já publicados e desenvolvidos, várias alternativas do campo da bioconstrução. Com base na área já mencionada e na união coexistentes entre a arquitetura, biologia e a engenharia, foram encontrados e abordados, dados consistentes acerca das bibliografias de Neri Oxman (Material Ecology) , Munira Z.Karimjee - (Arquitetura biodegradável: construções finitas para futuros sem fim), Paul Stamets - (Mycelium running), Gavin McIntyre CEO - co-fundador da empresa ecovative, Eben Bayer CEO - co-fundador da empresa ecovative e Philip Ross - co-fundador e diretor de tecnologia da MycoWorks.

A partir da interpretação e levantamento bibliográfico de artigos e textos, e a observação de métodos desses pesquisadores foram formuladas informações com relação ao micélio (corpo vegetativo da maioria das espécies de fungos, composto de hifas agrupadas ou emaranhadas que os cogumelos formam sob o solo). A coleta de dados se deu por aspectos da formação, produção do material gerado com base nos fungos, seu potencial de desenvolvimento, assim como também, fatores para comercialização e a ação da indústria, cultivo, benefícios de uso, recursos, e as aplicações técnicas construtivas. Após os registros a elaboração dos dados foram transformados em análises e quadros comparativos em forma de tabela, no qual indicam a viabilidade econômica da inovação dos materiais através da biomimética para a construção no século XXI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - CENÁRIO HISTÓRICO-ARQUITETÔNICO DA ÉPOCA

A revolução industrial (1760-1840), acarretou diversas mudanças nas formas de produção que conhecemos hoje. E como sabemos, na área da Arquitetura os materiais como o aço, concreto, vidro e ferro tornou-se parte do meio da construção nos mais diversos projetos. Com o grande desenvolvimento das fábricas e a criação de máquinas em diversos países como a França e a Inglaterra, o anseio pela rapidez e a combinação desses materiais no meio arquitetônico se tornou cada vez mais frequente e maior. Apesar das inúmeras obras já feitas com a utilização desses materiais, como a Torre Eiffel, o Edifício Garagem América - São Paulo (1957) ou até a criação do plástico e da borracha, com o passar das décadas saíram do controle. O que antes deveria ser criado e reutilizado de maneira racional e consciente, hoje se transformou em algo fora de escala e sem medidas cautelosas com o meio ambiente que vivemos.

Figura 1. Industrialização



fonte: Google Fotos.

Com o objetivo de corresponder às necessidades e desejos de toda uma geração e sociedade de consumo imediatista, aparecem inquietações e conflitos quanto ao uso do espaço e dos recursos naturais. A segunda metade do século XX é caracterizada pelo

surgimento da vasta discussão sobre o problema do meio ambiente. Neste ponto, aumenta cada vez mais a deterioração da natureza e a falta de alguns meios naturais, dispondo o tema da conservação da natureza nas discussões e debates públicos. A Segunda Guerra Mundial deu um grande impulso para o desenvolvimento de inovações químicas e plásticas, como o náilon, poliestireno e o polietileno. Tudo isso gerou um enorme excesso de lixo não biodegradável, uma das substâncias mais nocivas em todo o mundo.

Figura 2 -Crianças sentadas sobre destroços



Figura 2 Fonte : Envolverde (<https://envolverde.com.br/problemas-ambientais-de-hoje-provocados-pela-segunda-guerra-mundial/>, acesso em 02/06/2021).

4.2 - UMA REVOLUÇÃO E AMADURECIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Neri Oxman é uma designer israelense-americana, conhecida pela arte e a arquitetura que unem biologia, design, computação e engenharia dos materiais, é também professora do MIT Media Lab, onde lidera o grupo de pesquisa Mediated Matter. Seu trabalho é um manifesto contra as maneiras tradicionais de construir que são verdadeiros poluentes do nosso planeta, gerando elevadas taxas de gás carbônico na atmosfera e também deixando inúmeros resíduos não-descartáveis em aterros e lixões. Como salientado por Neri Oxman:

“Concreto, vidro e ferro não irão a lugar nenhum, logo mais, nossos prédios têm que respirar, suar e pensar. Nós, como designers e arquitetos do ambiente construído, estamos entrando numa era onde estamos projetando para a sobrevivência, para um tempo que não mais existirá, já a natureza pode continuar a vida dela sem nós.”

Nos dias atuais nos encontramos envoltos por uma crise hídrica e com 300 milhões de toneladas de plástico sendo desperdiçadas anualmente. É comum esquecer que a natureza tem por instinto crescer e não simplesmente se adequar aos feitos da humanidade, isso pode ser explicado exatamente pelo ponto no tempo em que estamos, o qual desconsidera o fato anterior e quebra a relação da natureza com as demais áreas gerando um choque com o mundo da biologia e tecnologia, o mundo da cultura, e o mundo do design, questionando o próprio papel da natureza e sua influência nesses mundos. Por esses motivos nos encontramos em um bom momento para enfatizar a pergunta feita por Neri Oxman:

“Podemos criar objetos feitos pelo homem que são naturais, mas também podemos criar objetos naturais feitos pelo homem?”

O questionamento acima direciona e resume toda a pesquisa de Neri, assim como também é a base para a nossa pesquisa. O “natural” (verbo cunhado pela própria Neri), o qual é caracterizado por ressignificar e criar materiais naturais, é visto como um renascimento, marcado pela Era Biodigital, é aquele que tem como atributo ser um processo em que traz uma mudança mais gradual no pensamento.

“No passado, acho que projetávamos produtos, não processos.”

- explicou Oxman durante uma sessão de imprensa que abordou sua visão e abordagem para a inovação.

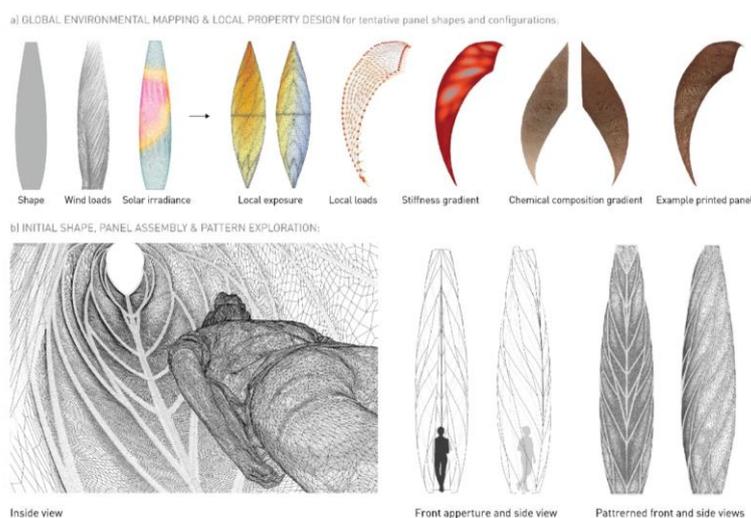
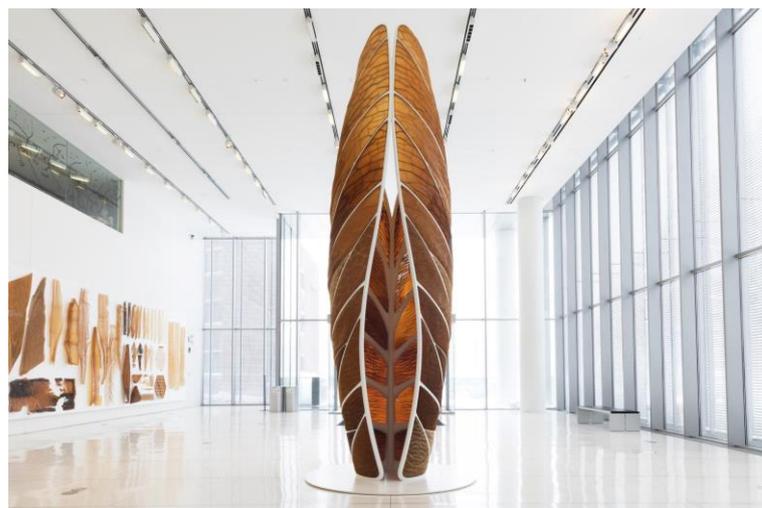
Desde a Revolução Industrial o mundo do design e construção tem sido dominado pelos rigores da manufatura e da produção em massa. As linhas de montagem padronizaram peças e ditaram um mundo feito a partir delas, enquadrando a imaginação de designers e construtores que foram ensinados a pensar sobre seus objetos de design e sistemas em termos de montagens de peças com funções distintas. A suposição de que as peças são feitas de um único material e cumprem funções específicas predeterminadas está profundamente enraizado no design e geralmente não é questionado; também é reforçado pela forma como as cadeias de abastecimento industriais trabalham.

O padrão de processos construtivos foi reestruturado por Neri a partir de ferramentas de design com tecnologia de ponta, como a impressora 3D, tendo como base os biocompósitos e a sua nova abordagem baseada na ecologia dos materiais e a biomimética que é um princípio pelo qual um design imita o que é visto no mundo biológico. Ao fazer isso, surge uma visão holística da composição da matéria que considera computação, fabricação e o próprio material como dimensões inseparáveis da construção que resultam em objetos que são ecológicos desde o início.

4.3 - PROCESSOS DE CRIAÇÕES E SEUS DESDOBRAMENTOS PARA A ARQUITETURA

Dentro do modelo de aplicação de seu escritório, em 2018, Neri propõe, O Pavilhão Aguahoja, desenvolvido a partir de biocompósitos programáveis para fabricação digital, um pavilhão a partir de componentes moleculares encontrados em galhos de árvores, exoesqueletos de inseto e nossos próprios ossos.

Figura 3 - Pavilhão Aguahoja , feito a partir de biocompósitos programáveis.



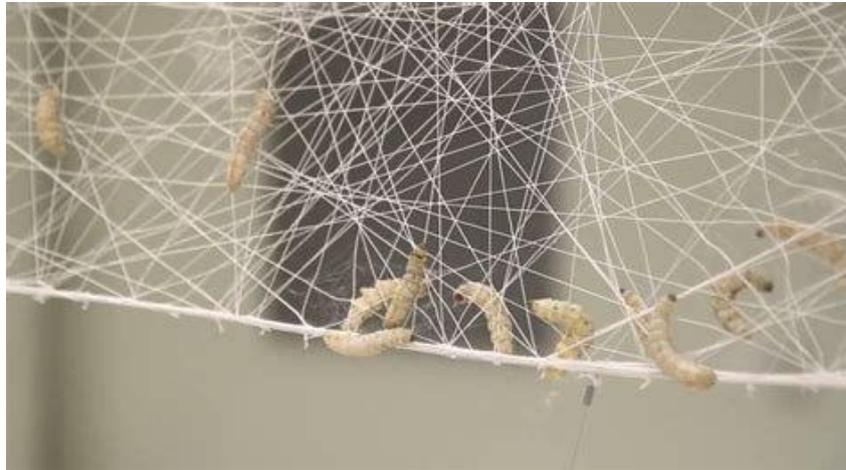
Fonte : Archdaily (<https://www.archdaily.com.br/br/895072/neri-oxman-e-mit-desenvolvem-biocompositos-programaveis-para-fabricacao-digital/>, acesso em 10/08/2021).

Os mesmos materiais encontrados em árvores, exoesqueletos de insetos, maçãs e ossos. Celulose, quitosana, pectina e carbonato de cálcio são combinados, produzindo compostos biodegradáveis com propriedades funcionais mecânicas, químicas e ópticas em escalas de comprimento que variam de milímetros a metros. O interessante nessa estrutura é a conformação de pele em forma de ("folhas"), onde são projetadas digitalmente e fabricadas como se fossem cultivadas, sem nenhuma montagem necessária.

Um segundo projeto desenvolvido foi Inspirado pelo do bicho-da-seda, no qual a capacidade de gerar um casulo 3D a partir de um único fio de seda de 1 km de comprimento. A geometria geral do pavilhão foi criada usando um algoritmo que atribui um único fio contínuo entre os remendos, fornecendo vários graus de densidade, além de um enxame de

6.500 bichos-da-seda posicionados na borda inferior de um andaime girando reforçando os locais que os bichos não teciam.

Figura 4- Bicho-da-seda



Fonte: (<https://www.designboom.com/technology/the-silk-pavilion-by-mit-media-labs/>, acesso em 17/02/2021).

Figura 5 - Silk Pavilion

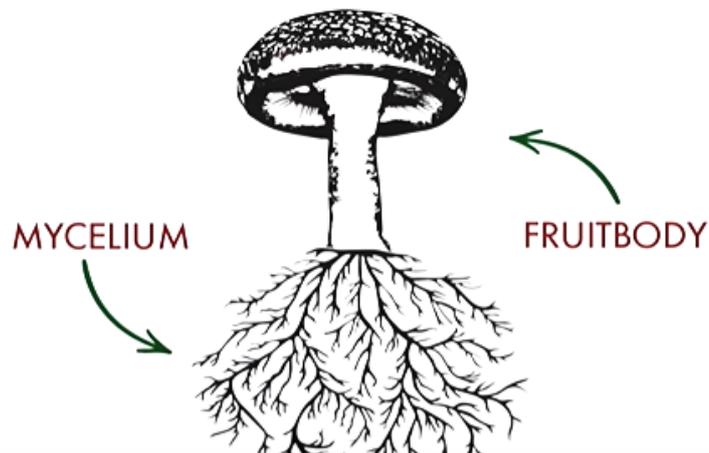


, Fonte: (<https://wyss.harvard.edu/news/spinning-up-a-silk-pavilion/>, acesso em: 14/07/2021).

4.4 - COMPORTAMENTO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS A BASE DO MICÉLIO

Avançando um pouco mais nas mais variadas formas e meios de se promover uma alternativa mais sustentável e duradoura a longo prazo, como material e matéria-prima principal da pesquisa, essa possibilidade pode ser obtida através do fungo chamado micélio. Para entender sobre o processo de Micotectura e como está sendo aplicada em diferentes áreas, é importante entender como os cogumelos crescem. Inicialmente, o cogumelo é a parte comestível, visível que está acima do solo de um organismo maior que cresce no subsolo chamado micélio. Os fungos (cogumelos), além de ajudar a manter um ecossistema saudável, tem a capacidade de reciclar nutrientes permitindo que outras plantas cresçam, pois são capazes de espalhar facilmente esporos, o que faz com que germine e cresça.

Figura 6 - Diagrama esquemático do cogumelo.



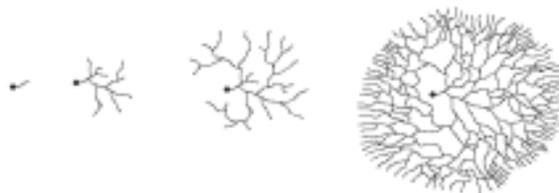
Fonte: Google imagens.

Quando um cogumelo brota acima do solo e suas “raízes” afloram, cria-se uma enorme rede micelial, criando o momento definidor no ciclo de vida do micélio. Através de filamentos brancos extremamente finos que se desenvolvem em todas as direções, uma trama complexa cresce muito rapidamente. Quando o fungo é implantado em um local adequado, o micélio se comporta como um adesivo que cimentando o substrato e converte o arranjo em um bloco

rígido. A madeira moída, a palha e diversos resíduos agrícolas, que geralmente seriam utilizados para usos menos nobres, podem ser utilizados como substrato.

Pesquisas científicas mostram que, em termos de propriedades físicas e mecânicas, os materiais à base de micélio são semelhantes ao poliestireno expandido (mais chamado de isopor), mas tem maior biodegradabilidade. “Além dos substratos lignocelulósicos, as propriedades dos biocompósitos à base de micélio também são fortemente influenciadas pelas espécies de fungos selecionadas e seu crescimento contínuo. Portanto, a consistência do próprio micélio é, por sua vez, afetada pela composição e estrutura do substrato. Impacto: Dependendo da cepa de micélio e do substrato utilizado, o produto final pode ser moldado em placas isolantes, móveis, acessórios, tecidos, materiais de embalagem e até mesmo tijolos, com boas propriedades térmicas e acústicas e até mesmo boa resistência ao fogo.

Figura 7 - Diagrama mostrando a expansão de estrutura de micélio. Mycellium se refere à massa de ramos (a parte vegetativa do fungo). Hyphae é o nome dado aos ramos.



Fonte: Biodegradable Architecture (https://curve.carleton.ca/system/files/etd/df91b36d-bbf3-4e19-bcdd-6364f8444eef/etd_pdf/ae5e761461b785c8256e03b9cbef54f8/karimjee-biodegradablearchitecturefiniteconstruction.pdf, acesso em 14/06/2021).

4.5 - O UNIVERSO DE PHILIP ROSS E A MYCOWORKS

Philip Ross, co-fundador da MycoWorks, é uma das fontes principais nas quais se fundamentam esta pesquisa, sendo uma das empresas pioneiras na utilização do micélio para criar objetos, tem como lema da sua empresa : “Crie o futuro dos materiais” e a partir desse lema gera variados produtos como o couro sintético feito a partir do micélio, cria também o Fine Mycelium, uma tecnologia que projeta células de micélio à medida que se desenvolvem para criar estruturas tridimensionais densamente entrelaçadas e inerentemente fortes. Um

avanço da ciência dos materiais e da biotecnologia que oferece aos designers controle criativo total.

“O micélio tem o potencial de ser um substituto para muitos plásticos à base de petróleo. Ele deixou o mundo da arte e parece ter entrado em um romance de ficção científica ou algo assim”... “Com isso é possível entrar na produção regional de biomateriais. Por exemplo, aqui em São Francisco, poderíamos começar a produzir muitos materiais locais usando esse fungo e criar uma espécie de projeto piloto. ”, explicou Philip Ross em uma entrevista para Glasstire.

Ross inicialmente, na década de 1990, cultivou o micélio como base para material para arte, que envolveu a descoberta de uma rica diversidade em forma, textura e cor. Daí vem a inovação do campo da micotectura, uma expressão que ele mesmo criou em 2008 para descrever a criação com micélio.

Suas obras de arte e instalações de micélio foram exibidas internacionalmente no MoMA , na Bienal de Arte Contemporânea de Moscou e na Bienal de Arquitetura de Veneza 2016 como parte da exibição Time Space Existence - Daring Growth , que prevê sistemas de produção descentralizados, locais e renováveis baseados em materiais de construção naturais consideradas fundamentais para diversos campos da ciência.

Mais tarde, com o reconhecimento do potencial do micélio como um material vivo com infinitas expressões estéticas, convidou Sophia Wang, colaboradora artística e amiga de Philip, para se juntar à frente para liderar o que hoje é conhecido como a MycoWorks. A equipe criou painéis e formas moldadas para design de interiores e estruturais, atraindo o interesse de arquitetos, designers de móveis e fabricantes.

“Você nunca muda as coisas lutando contra a realidade existente.

Para mudar algo, construa um novo modelo que torne o modelo existente obsoleto.”

- Buckminster Fuller

Em comparação, uma pele de vaca demora quase 2 anos para crescer, porém depende de outros fatores para completar sua formação, como comida e muito tempo para criar esse animal para seu uso. Já com a ajuda do micélio, a criação de algo semelhante, porém sustentável e de baixo uso tecnológico além de necessitar de materiais simples, como palhas ou serragem, a única coisa que necessita a mais é uma manipulação do ambiente certo, sua temperatura, umidade, luz e a troca de gás. Os materiais de micélio irão se degradar com o tempo após o ciclo de vida do produto pretendido, em contraste com os materiais à base de plástico que permanecem por milhares de anos.

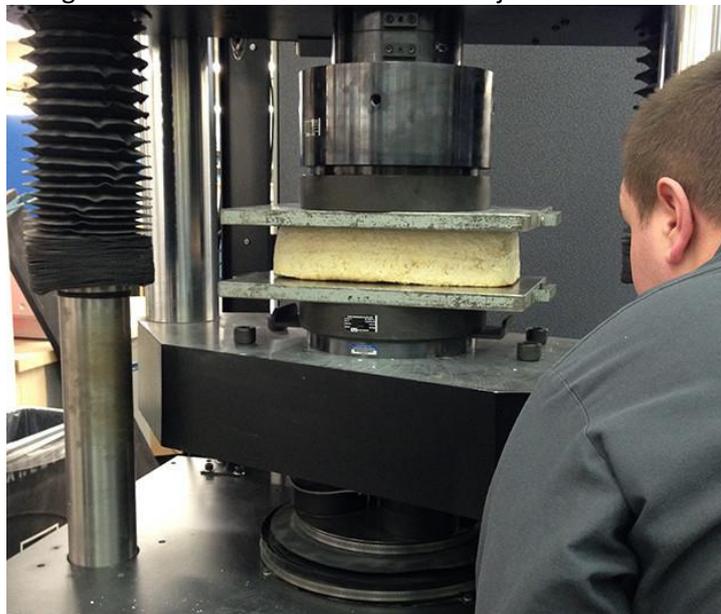
4.6 - O MAR DE INOVAÇÕES DA ECOVATIVE DESIGN

Em parceria com a empresa MycoWorks a empresa Ecovative Design também tem como princípio desenvolver e ajustar novos materiais sustentáveis por meio da biologia de programação. Baseada em três pilares do micélio a empresa se desenvolve : Macroestruturas, Características Ajustáveis e Sustentabilidade.

As macroestruturas são feitas pelo próprio fungo, um aspecto que é exclusivo nas plataformas de biofabricação no espaço da biotecnologia. Desta forma, desenvolvem estruturas de alto desempenho em vez de fabricar componentes individuais que precisam ser montados. As características ajustáveis também fazem parte da composição do micélio, nos processos de biofabricação é possível ajustar a estrutura do micélio com base nas características de desempenho desejadas do material que é produzido existe a possibilidade de controlar a porosidade, textura, resistência, resiliência, orientação da fibra e muito mais. A sustentabilidade se encontra em todo o processo de produção ao utilizar insumos naturais, em contraste com os materiais à base de plástico que permanecem por milhares de anos, os materiais avançados de alto desempenho de micélio irão se degradar com o tempo após o ciclo de vida do produto pretendido.

A Ecovative Design e o estúdio The Living trabalharam em cooperação no Hy-Fi Project, um pavilhão construído no MoMA PS1. Esta construção foi toda desenvolvida com tijolos de micélio, ela foi uma variação do trabalho de Philip Ross e patenteada pela empresa Ecovative. Os tijolos de micélio eram feitos a partir do substrato de talos de milho picados e inserido em moldes, junto com uma solução com os fungos, e após cerca de 5 dias de crescimento em condições ideais de temperatura, umidade e luminosidade, o material é solidificado na forma desejada. Ele vai, então, a um forno para inativar completamente os microrganismos presentes, para poder ser utilizado. Quando emparelhados, os tijolos foram capazes de estruturar uma torre de cerca de 12 metros de altura. Foi considerada a primeira estrutura a ter emissões quase nulas de carbono em seu processo de construção. Ao fim da exposição de dois meses, a torre foi desmontada e seguindo seu curso orgânico os tijolos foram levados para composteiras.

Figura 8 -Testes sendo feitos com os tijolos de micélio.



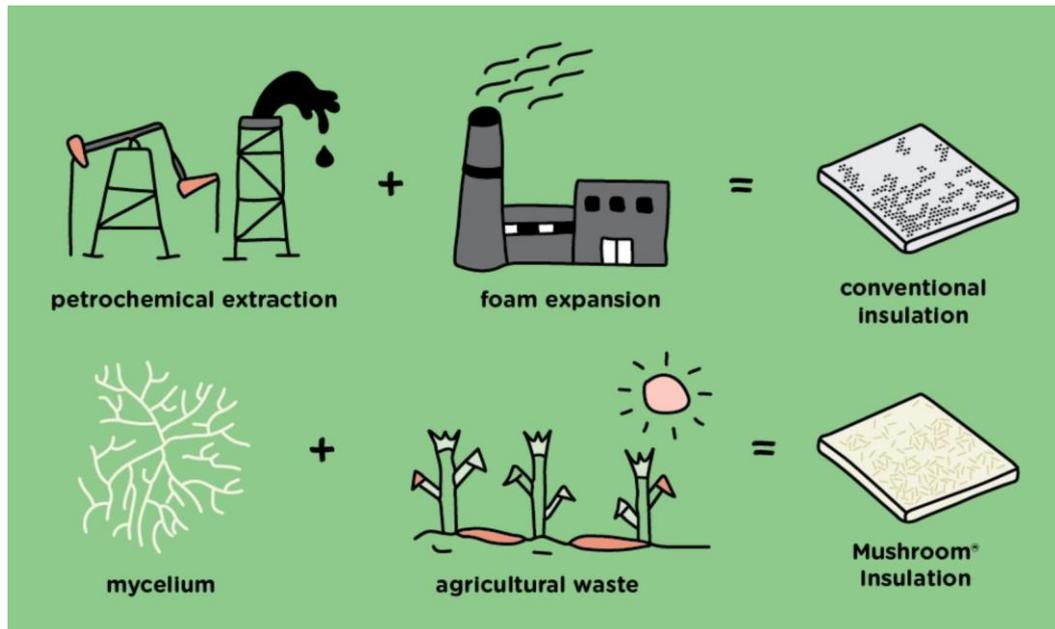
Fonte : Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021).

Figura 9 - Hy-Fi. Torre de tijolos a base de cogumelos.



Fonte: Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021)

Figura 10 - Comparação de processos construtivos da construção convencional x a construção com base no micélio.



Fonte : Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021).

Citando também outra iniciativa da Ecovative, no processo construtivo das paredes existe a possibilidade do uso de cogumelos vivos embalados entre os painéis de madeira que formam a própria. O micélio cresce e se solidifica em três dias, logo depois as partículas que

estavam soltas são transformadas em um isolamento hermético e ao mesmo tempo aderem às placas de madeira e criam um bloco bastante forte, resulta-se em um material semelhante

a um painel isolante estrutural, após cerca de um mês esta composição com o cogumelo seca naturalmente e fica inativo, gerando assim a condição propícia para ser utilizada.

Figura 11 - Paredes com preenchimento com base de micélio.



Fonte: Ecovative (<https://ecovatedesign.com/>, acesso em :04/05/2021).

4.7 - TABELAS E GRÁFICOS COMPARATIVOS

Foi feito uma comparação entre dados e levantamentos já existentes de matérias-primas das construções em aço em quatro países, veja a seguir:

Figura 12 - Percentual de construções em aço. Características do Aço nas Aplicações para a Construção Civil



Fonte: google

Vejamos os seguintes dados de 18 de maio de 2017 das Nações Unidas, sobre o as ações deste setor no meio ambiente:

CONSUMO

40% de toda energia
Extrai 30% dos materiais do meio natural
Gera 25% dos resíduos sólidos
Consome 25% da água
Ocupa 12% das terras

MATERIAIS	TEMPO PARA SE DECOMPOR	RESISTÊNCIA	PESO	CONSUMO DE OUTROS PRODUTOS QUÍMICOS	POLUENTE
AÇO	Mais de 100 anos	ALTA	ALTO	ALTO	SIM
CONCRETO	50 A 100 anos	ALTA	ALTO	ALTO	SIM
VIDRO	4mil anos	BAIXA	ALTO	ALTO	SIM
METAL	Mais de 100 anos	ALTA	ALTO	ALTO	SIM
ALUMÍNIO	200 a 500 anos	MEDIA	MEDIO	ALTO	SIM
ISOPOR	150 anos	BAIXA	BAIXO	MEDIO	SIM
COURO	50 anos	ALTA	BAIXO	ALTO	SIM
MICÉLIO	indeterminado	ALTA	BAIXO	NENHUM	NÃO

Figura 13 - Tabela comparativa dos materiais em relação ao micélio.

Levantamentos realizados em vários estados brasileiros mostraram que, em média, devido às perdas (incluindo a própria edificação e entulho), o gasto com materiais foi 8% superior ao necessário. Para certos tipos de materiais, o problema é ainda maior. O desperdício de materiais finos pode chegar a 80%, e o desperdício de tintas e tijolos pode chegar a mais de 25%. Além de um terço dos recursos naturais, a construção civil consome de 40% a 75% das matérias-primas produzidas na terra. O consumo de cimento é maior do que o consumo de comida - perdendo apenas para o consumo de água. Em 2012, a equivalência entre cada pessoa no mundo e a quantidade de cimento era de 536 quilos para cada uma, o que tornava a construção civil a indústria mais poluente do planeta. No Brasil, o peso médio per capita em 2009 era de 353 kg - esse número é cinco vezes maior que o da China.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da nossa discussão observamos que a transformação de resíduos orgânicos em novos materiais, é uma tendência viável à longo prazo por conta de modelos computacionais atuais que permitem projetar formas complexas através de codificações simples, que transformam a produção em massa em cultivo de produtos construtivos. Empresas grandes como a Mycoworks tentam relacionar através de testes de comportamento do material: o tijolo de micélio com os tijolos convencionais de cerâmica e concreto e afirmam que há maior eficácia com relação à durabilidade e resistência do tijolo.

Porém, o mercado da construção civil ainda estabelece poderios desde a extração de materiais até transporte e construção. Assim, existe uma dominância de empresas com relação à fabricação o que dificulta a inserção desses materiais e o desenvolvimento de todo o processos até a distribuição nos mercados.

Mesmo que possamos resumir alguns exemplos de iniciativas em um artigo, o uso do micélio e das bases construtivas feitas a partir de biocompósitos ainda está sendo explorado. Artigos científicos sobre o assunto quase sempre terminam com uma afirmação: É necessário realizar muitas pesquisas e experimentações com os materiais para torná-los aqueles que possuem um controle de qualidade eficiente, competitivo e industrial para uso em larga escala. Mas é unânime a opinião de que esta nova forma construtiva tem grande potencial em muitos campos diferentes, é um verdadeiro Renascimento de pensamentos que precisam instigar a modificação do cenário atual, podendo representar uma mudança de paradigma na maneira como lidamos com a aquisição, uso e descarte de materiais de construção.

Vale ressaltar portanto que os objetivos estabelecidos foram atingidos mediante as pesquisas, tabelas e gráficos comparativos que sintetizam as diferenças e similaridades quanto à eficiência dos biomateriais e sua inserção na construção civil.

REFERÊNCIAS

- ARQUITETURA BIODEGRADAVEL. Disponível em: <https://curve.carleton.ca/system/files/etd/df91b36d-bbf3-4e19-bcdd-6364f8444eef/etd_pdf/ae5e761461b785c8256e03b9cbef54f8/karimjee-biodegradablearchitecturefiniteconstruction.pdf>. Acesso em: 14 maio.2020.
- Z.KARIMJEE, Munira. Arquitetura biodegradável: construção finita para futuros sem fim. Ottawa, fev./2014. Disponível em: <https://curve.carleton.ca/system/files/etd/df91b36d-bbf3-4e19-bcdd-6364f8444eef/etd_pdf/ae5e761461b785c8256e03b9cbef54f8/karimjee-biodegradadearchearchpdf>. Acesso em: 17 mai. 2020.
- UMA CASA FEITA DE COGUMELOS? UM ARTISTA SONHA COM UM FUTURO FÚNGICO. Disponível em: <<https://www.kqed.org/quest/71171/a-house-made-from-mushrooms-an-artist-dreams-of-a-fungal-future>>. Acesso em: 14.maio.2020.
- DESIGN ECOVATIVO. Disponível em: <<http://ecovatedesign.com/>>. Acesso em: 10.maio.2020.
- MAIS RESISTENTE QUE CONCRETO, TIJOLO DE COGUMELOS PROMETE ALTERNATIVA A CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/tecnologia/mais-resistente-que-concreto-tijolo-de-cogumelos-promete-alternativa-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 11.maio.2020.
- FUNGO PERFECTI. Disponível em: <<https://fungi.com/>>. Acesso em: 11.maio.2020.
- COMUNICAÇÕES PARA LÍDERES DE ENGENHARIA. Disponível em: <<https://funginstitute.berkeley.edu/people/sonia-travaglini/>>. Acesso em: 15.maio.2020.
- O FUTURO DO MUNDO: RETORNO AJUSTADO A ETICA. Disponível em: <<https://warrenbrasil.com.br/blog/o-futuro-do-mundo-retorno-ajustado-a-etica/>>. Acesso em: 15 maio.2020.
- PRODUTOS ORGANICOS. Disponível em: <<https://grow.bio/collections/shop/products/heavy-mix>>. Acesso em: 16 maio.2020.
- ECOVATIVE MICELIO MATERIAL. Disponível em: <<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ecovative-website-production/documents/Grow-It-Yourself-Instruction-Manual-v1.0.pdf>> Acesso em: 16 maio.2020.
- REISHI. Disponível em: <<https://www.madewithreishi.com/>> Acesso em: 16 maio.202.
- SECRETARIA DA EDUCAÇÃO. Disponível em: <<http://www.ciencias.seed.pr.gov.br>>. Acesso em:13 maio.2020
- FUNGOS. Disponível em: <http://www.icb.usp.br/~crpmicol/materiais/apostila_fungos.pdf>. Acesso em:24 abril.2020.

BIOMATERIAIS. Disponível em: <<https://medium.com/space10-imagine/expert-view-biomaterials-with-philip-ross>>. Acesso em 15 maio.2020.

COLEÇÕES. Disponível em: <<https://grow.bio/collections/>>. Acesso em 5 maio.2020.

PRODUÇÃO DE ECOVATIVE. Disponível em: <<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ecovative-website-production/documents/Grow-It-Yourself-Instruction-Manual-v1.0.pdf>>. Acesso em 5 maio.2020.

CONHECIMENTOS SOBRE FUNGOS E FERMENTAÇÃO. Disponível em: <<https://www.mediamatic.net/en/page/184917/mycelium-knowledge>>. Acesso em: 3 maio.2020.

COMO GAP, MYCOWORKS E MILHARES DE PESSOAS ESTÃO SE APROXIMANDO A MODA DA CIRCULARIDADE. Disponível em: <<https://sustainablebrands.com/read/chemistry-materials-packaging/how-gap-mycoworks-thousand-fell-are-edging-fashion-closer-to-circularity>>. Acesso em: 1 maio.2020.

DESIGN E VIOLENCIA. Disponível em:<<https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2013/designandviolence/mycotecture-phil-ross/>>. Acesso em : 3 maio.2020.

OS COGUMELOS SÃO O NOVO PLÁSTICO?. Disponível em:<https://www.ted.com/talks/eben_bayer_are_mushrooms_the_new_plastic>. Acesso em : 2 maio.2020.

O FUTURO DO MUNDO, RETORNO AJUSTADO A ÉTICA. Disponível em:<<https://warrenbrasil.com.br/blog/o-futuro-do-mundo-retorno-ajustado-a-etica/>>. Acesso em: 22 abril.2020.

SONIA TRAVAGLINI. Disponível em:<<https://funginstitute.berkeley.edu/people/sonia-travaglini/>>. Acesso em :15 maio.2020.

FUNGI. Disponível em:<<https://fungi.com/>>. Acesso em :10 maio.2020.

ECOVATIVE. Disponível em:<<http://ecovatedesign.com/>>. Acesso em :10 maio.2020.

TECNOLOGIA MAIS RESISTENTE QUE CONCRETO. Disponível em:<<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/tecnologia/mais-resistente-que-concreto-tijolo-de-cogumelos-promete-alternativa-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 10 maio.2020.

MYCOWORKS. Disponível em:<<https://www.mycoworks.com/resources>>. Acesso em: 20 de abril 2020.

MICÉLIO. Disponível em:<<https://www.dezeen.com/tag/mycelium-design/>>. Acesso em:22 abril.2020.

MICOLOGISTA DESENVOLVE TIJOLO DE COGUMELOS MAIS RESISTENTE QUE CONCRETO. Disponível em:<<https://www.a-folhadovale.com/single-post/2019/05/19/>>. Acesso em: 24 abril.2020.

ESTUDANTE DESENVOLVE TÉCNICA QUE USA COGUMELOS E PAPELÃO PARA CONSTRUÇÃO. Disponível em:<<https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/estudante-desenvolve-tecnica-que-usa-cogumelos-e-papelao-para-construcao/>>. Acesso em 24 abril.2020.

APÊNDICES

São elementos opcionais, compostos por textos, documentos ou ilustrações, elaborados pelo próprio autor, a fim de complementar a sua argumentação e servir de referência ou suporte sem prejuízo à unidade nuclear do trabalho.

A palavra *apêndice* deve ser escrita em maiúsculas e identificada por uma letra do alfabeto em caixa alta, e o título deve ser centralizado, separado por hífen e vir em negrito; por exemplo: **APÊNDICE A – Título do apêndice**. O documento pode ficar no formato original ou sofrer alterações para que não se diferencie da formatação do restante do texto. Os apêndices devem ter suas páginas enumeradas na ordem do trabalho. Além disso, devem constar no sumário, ser identificados e seguidos de suas respectivas páginas.

ANEXOS

São elementos pós-textuais opcionais que o autor insere no trabalho; não são de sua autoria, mas servem de fundamentação, comprovação e ilustração. É recomendável que sejam anexados os documentos mais importantes usados ou citados. Os anexos não são obrigatórios, mas podem ajudar a organizar o corpo do texto, evitando que imagens, tabelas ou gráficos quebrem o ritmo de leitura.

Os anexos, como os apêndices, devem ser identificados por letras maiúsculas, localizadas na região central da página, acompanhados pela palavra ANEXO e com as letras do alfabeto colocadas de forma subsequente; por exemplo, se o texto apresenta três anexos, esses devem ser identificados por ANEXO A, ANEXO B e ANEXO C. Além disso, os anexos devem estar em folhas separadas. Não importa se o anexo tenha apenas um parágrafo ou meia página. Se houver mais de um anexo, cada um deve ocupar uma página individual para facilitar sua localização. O título do anexo segue o seguinte exemplo: ANEXO A - Título do anexo.

Os anexos devem ter suas páginas numeradas na ordem do trabalho realizado e constar no sumário.

Assim, a pesquisa buscou se fundamentar no estudo das técnicas que estão sendo estudadas, avaliadas e aplicadas por pesquisadores, biólogos e empresas que desenvolvem tais possibilidades de construção, adaptação e transformação de materiais nocivos ao meio ambiente para uma forma nova de utilização e aplicação dos mesmos.

Kristensen et al. (ETH, Zurique) apresenta uma nova fabricação de método que combina formação de deslizamento e fabricação digital para concreto estruturas. Neste processo de fabricação aditiva, um braço robótico é implementado para formar o concreto enquanto ele

endurece, eliminando a necessidade de uma cofragem fresada personalizada complexa e permitindo o reaproveitamento do molde sob múltiplas extrusões, oferecendo assim maior eficiência e controle. Reichert et al. (ICD - Instituto de Design Computacional, Stuttgart) propõe uma nova abordagem para o projeto e construção de detecção e atuação com base em materiais. Os autores se concentram em sistemas arquitetônicos autônomos responsivos que podem se adaptar a

estímulos ambientais por meio de propriedades higroscópicas do material. No Neste quadro, todas as funções são integradas em um único material. Inspirada na mecânica de plantas, a pesquisa se concentra em higroscópicos a atuação em plantas como modelo de responsividade passiva, autônoma e materialmente incorporada. Ahlquist et al. (Universidade de Michigan) apresenta uma estrutura digital e ambiente de software para o design computacional de forma pré-tensionada geometricamente complexa e flexão ativa

arquitecturas. Os autores classificam as relações entre a composição do material e o desempenho funcional com base nas restrições topológicas, ambientais e materiais. Modelos físicos são avaliadas pela implantação de simulações baseadas em molas combinadas com métodos de elementos finitos. Entre os estudos de caso está uma folha de bananeira caule, que demonstra combinações estruturais intrigantes de alta rigidez à flexão e baixa rigidez torcional. Schleicher et al. (ITKE - Instituto de Estruturas de Edifícios e Structural Design, Stuttgart) enfoca os desafios e oportunidades associados ao projeto de estruturas cinéticas. Os autores encontram inspiração nos movimentos flexíveis e elásticos das plantas para a cinética Projeto. Usando técnicas de modelagem e simulação computacional eles revelam princípios de movimento em plantas e integram os mecanismos subjacentes em estruturas flexíveis. Conhecimento adquirido sobre estruturas cinéticas bioinspiradas são aplicadas ao projeto de um dispositivo de sombreamento para fachadas duplamente curvas. Pottmann et al. (TU Graz, Áustria) oferece uma visão geral das estruturas arquitetônicas compostas ou relacionadas a células poliédricas. Os autores fornecem uma definição conceitual matemática de suporte estruturas para empacotamento de células poliédricas. Orientados por uma visão da geometria diferencial discreta, os autores demonstram inicializações de esquemas de otimização numérica para o projeto computação de malhas quadradas e hexadecimais.

Duro Royo et al. (MIT, EUA) apresenta uma abordagem computacional e ambiente de software para a geração de segmentos esuperfícies blindadas articuladas que negociam entre as funções de proteção e flexibilidade. Modelado após o antigo blindado peixe

Polypterus senegalus e através de simulações extensas, o autores ilustram relações de estrutura para função de bio-armaduras e emular essas descobertas no projeto de um modelo computacional multiescala chamado MetaMesh. Doubrovski et al. (MIT, EUA e TU Delft, Holanda) apresentar um método computacional baseado em voxel e um fluxo de trabalho para fabricando digitalmente soquetes protéticos personalizados. No coração de esta abordagem é o método de impressão de bitmap que permite aditivos fabricação de arquivos de bitmap incorporados com alta resolução dados. Além da variação local na rigidez do material, os autores implementar variação na transparência e índice de refração em a fim de incorporar elementos sensores de pressão integrados ao soquete para avaliação de desempenho. Burry et al. (RMIT, Austrália) analisa uma série de projetos que exploram relações complexas entre limites ambientais condições e metodologias computacionais para a descoberta de formulários. o autores defendem a importância da mídia analógica e digital mista nos primeiros estágios de design. Os projetos demonstram a integração entre o software de avaliação de design sustentável com arquiteturas responsivas baseadas em arduin para permitir feedback em tempo real entre o ambiente, dispositivos de hardware, o ambiente de modelagem e o sistema de materiais. As idéias e princípios por trás da ecologia de materiais inspirados a necessidade e gerou uma estrutura para inovação em geração de formas computacionais, materiais multifuncionais e digitais fabricação. Essas abordagens em conjunto permitirão a expressão da ecologia de materiais em produtos e projetos arquitetônicos escalas.