UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

MARIAH GUIMARÃES DI STASI

CIBERNÉTICA EM AÇÃO:
ARQUITETURA VISTA ATRAVÉS DOS ECOSSISTEMAS

SÃO CARLOS

2019

IMAGEM REALIZADA PELA AUTORA

MARIAH GUIMARÃES DI STASI

Cibernética em Ação: Arquitetura vista através dos ecossistemas

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Orientadora: Profa. Dra. Anja Pratschke

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DD614c Di Stasi, Mariah Guimarães
Cibernética em Ação: Arquitetura vista através dos
ecossistemas / Mariah Guimarães Di Stasi;
orientadora Anja Pratschke. -- São Carlos, 2019.
222 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2019.

1. Buckminster Fuller. 2. ciência da máquina
ideal. 3. ecossistema. 4. processo de projeto. 5.
sistema viável. I. Pratschke, Anja, orient. II.
Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Mariah Guimarães Di Stasi**

Título da dissertação: **"Cibernética em Ação: Arquitetura vista através dos ecossistemas"**.

Data da defesa: **14/08/2019**

Orientador: **Profa. Dra. Anja Pratschke**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. Anja Pratschke
(IAU/USP)

Não votante

Prof. Dr. Carlos Roberto Monteiro de Andrade
(IAU/USP)

Prof. Dr. Gilfranco Medeiros Alves
(UFMS)

Prof. Dr. Rodrigo Martín-Iglesias
(UBA/Argentina)

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Profa. Dra. Anja Pratschke, ao longo dos últimos quatro anos, que me conduziu de forma especial, mostrando a importância da pesquisa e a relevância do tema. Agradeço não só a orientação, mas o apoio e a confiança em mim e no meu trabalho, pelas conversas imprescindíveis para a evolução tanto da pesquisa como da pesquisadora, me inspirando constantemente. Esse trabalho só foi possível com o devido amparo da Profa. Dra. Anja Pratschke.

Agradeço ao Nomads.USB e ao Prof. Associado Marcelo Tramontano pela oportunidade de participar de momentos que fizeram mudar minhas perspectivas sobre a academia e a carreira científica. Agradeço pelo espaço para trocas de experiências e apoio daqueles que fizeram parte da minha jornada.

Agradeço ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, pela viabilização e concessões para o andamento do meu mestrado.

Agradeço à Elza Maria Guimarães Santos, pela leitura e correção do meu trabalho, fornecimento de livros e a gentil disponibilidade em trocar conhecimentos sobre Ecologia de Ecossistemas. Pelo carinho e apoio incondicional ao longo desses anos.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro a esta pesquisa, por meio da concessão de bolsa de estudos, com duração de um ano e meio, fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

“Eu vivo na Terra no presente, e não sei o que sou eu. Eu sei que não sou uma categoria. Eu não sou uma coisa - um substantivo. Eu pareço ser um verbo, um processo evolutivo - uma função integral do universo” (Buckminster Fuller, 1970).

“I live on Earth at present, and I don’t know what I am. I know that I am not a category. I am not a thing — a noun. I seem to be a verb, an evolutionary process — an integral function of the universe” (Buckminster Fuller, 1970).

DI STASI, Mariah Guimarães. **Cibernética em ação: Arquitetura vista através dos ecossistemas**. 2019. 226 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

RESUMO

O processo de projeto arquitetônico encontra-se em um momento de constantes mudanças, buscando fundamentos que atendam as demandas vigentes. Adicionalmente, se observa uma crescente preocupação em reproduzir princípios e características biológicas, na modelagem e no processo da Arquitetura. Frente a essas preocupações, a dissertação tem como cerne da pesquisa enfocar a arquitetura sob o ponto de vista ecossistêmico, abordada em duas esferas: a Cibernética de Primeira e Segunda Ordem. Na primeira parte se buscou discutir a cibernética de primeira ordem e princípios ecossistêmicos correspondentes aos conceitos cibernéticos da máquina ideal, a homeostase e adaptação frente aos estímulos externos que assolam o corpo humano, bem como as edificações. Na segunda parte, se procurou discutir os conceitos cibernéticos da viabilização do sistema, as hierarquias e os processos organizacionais, tanto para controle de informações, como para solução colaborativa de membros participantes. Através de análises de atributos cibernéticos e ecossistêmicos, alguns projetos específicos foram selecionados e adicionados, em ambas as partes, para evidenciar essas características. Foi identificada essa confluência em projetos de arquitetura que partilham, sempre, o mesmo período histórico das idealizações teóricas analisadas adicionadas da atualização por meio de análise de projetos do período contemporâneo. Portanto, essas avaliações trouxeram à luz esclarecimentos sobre o desempenho do processo de projeto, em que se explicitou a capacidade de automação arquitetônica e características responsivas, bem como a viabilidade do sistema e colaboração por meio de sinergia. Procurou-se apresentar meios de aprimorar o processo de projeto arquitetônico trazendo conceitos cibernéticos e convicções ecossistêmicas, de forma a elucidar outros meio que promovam uma arquitetura mais responsável e ecológica.

Palavras-chave: Buckminster Fuller, cibernética, ciência da máquina ideal, colaboração, ecossistema, processos de projeto, sistema viável.

DI STASI, Mariah Guimarães. **Cybernetics in action: Architecture seen through ecosystems**. 2019. 226 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

ABSTRACT

Architecture design process has currently been in a moment of changes, seeking fundamentals that meet ongoing demands. However, a growing concern in reproducing biological principles and characteristics has been observed in the shape and design process. Regarding these points, this research aims to understand architecture under ecosystemic approach with two perspectives, the First and the Second Order Cybernetics. At first, we aimed at discussing the First Order Cybernetics and ecosystemic principles related to the ideal machine challenge, the homeostasis and the adaptation facing external stimuli which affect both the human body and the edifications. Then, we discussed the Second Order Cybernetics and ecosystemic issues concerning the system viability, the hierarchies and the organizational process, either for information control or for collaborative solution among participants. Through the lenses of cybernetic and ecosystemic concepts, some specific projects were selected and added to highlight these ideas, which reflected the two orders previously mentioned. We identified this confluence in the architecture of the selected projects belonging, always, to the same historic period added of update through contemporary design analysis. Therefore, these evaluations enlightened the design process performance by emphasizing the capacity of architecture automation and responsive characteristics, as well as the system viability and collaboration through synergy. This research focuses on understanding ways for improving the architecture design process under cybernetics concept and through ecosystemic convictions, so that it can clarify other pathways which promote a more sustainable and responsible architecture.

Key words: Buckminster Fuller, collaboration, cybernetics, design process, ecosystem, ideal machine science, viable system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência das teorias de Ashby e Beer na Cibernética de Primeira e Segunda Ordem	5
Figura 2 - Princípios de organização como sistema mecânico e orgânico	7
Figura 3 - Teorias complementares de Ashby	20
Figura 4 - Áreas de conhecimento advindas da Cibernética de Primeira Ordem.....	21
Figura 5 – Variáveis essenciais	27
Figura 6 – Processo de homeostase	29
Figura 7 – O Homeostato	31
Figura 8 – Funcionamento do homeostato	32
Figura 9 – Processos homeostáticos	34
Figura 10 - Imagem do planeta Terra pela Apollo 17	36
Figura 11 – Modelo de ecossistema	38
Figura 12 – Fluxo de energia no ecossistema.....	42
Figura 13 – Processo de fotossíntese.....	43
Figura 14 – A arquitetura e a Homeostase	48
Figura 15 – Conceito Dymaxion.....	50
Figura 16 – Modelo da Casa 4D Dymaxion.....	53
Figura 17 – Tração e compressão na Casa 4D Dymaxion.....	56
Figura 18 - Planta da Casa 4D Dymaxion.....	56
Figura 19 – Casa 4D Dymaxion	57
Figura 20 – Tração e compressão no Dormitório Móvel Dymaxion	58
Figura 21 - Corte e perspectiva do Dormitório Móvel Dymaxion.....	59
Figura 22 - Elevação da Unidade de Destacamento Dymaxion acopladas	62
Figura 23 - Planta da Unidade de Destacamento Dymaxion acopladas	63
Figura 24 - Planta da Máquina de Habitar Dymaxion	66
Figura 25 - Máquina de Habitar Dymaxion em Wichita.....	68
Figura 26 - BedZED.....	72
Figura 27 – Localização do BedZED.....	77
Figura 28 - BedZED.....	80
Figura 29 – Ventilação natural.....	81
Figura 30 – Corte do BedZED.....	83
Figura 31 - Áreas de conhecimento advindas da Cibernética de Segunda Ordem.....	100
Figura 32 - Diferença entre o sistema de governança hierárquico e colaborativo	106
Figura 33 - Sala de Operações do Projeto Cybersyn de Santiago, Chile	108
Figura 34 – Planta da Sala de Operações do Projeto Cybersyn.....	109
Figura 35 - Sistema Nervoso Humano.....	111
Figura 36 – Sistema Nervoso Humano e Modelo de Sistema Viável	115
Figura 37 - Modelo de Sistema Viável em 1985	117
Figura 38 - Modelo de Sistema Viável em 1981	118
Figura 39 - Sistema de classificação do modelo	118
Figura 40 - Subsistema 1, 2 e 3 em 1981	120
Figura 41 - Subsistemas 1, 2 e 3 em 1985	123

Figura 42 - Subsistema 4 em 1981	124
Figura 43 – Subsistema 4 em 1985	126
Figura 44 – Nível de Conselho do Subsistema 5	127
Figura 45 – Subsistema 5 em 1981	128
Figura 46 – Subsistema 5 em 1985	129
Figura 47 – Rede de Interações do Team Syntegrity	134
Figura 48 – Icosaedro: membros e críticos	135
Figura 49 – Icosaedro: observadores	136
Figura 50 – Representações gráficas de tipos de redes de interação.....	139
Figura 51 - Icosaedro.....	152
Figura 52 – Formação da geodésica.....	157
Figura 53 – Face do Icosaedro	157
Figura 54 – A Primeira Geodésica de Fuller.....	158
Figura 55 – Geodésicas analisadas.....	159
Figura 56 – Localização de Carbondale, Illinois, EUA.....	160
Figura 57 – Desenho da Residência de Anne e Buckminster Fuller	161
Figura 58 – Interior da Residência de Anne e Buckminster Fuller	162
Figura 59 – Fundação da Residência de Anne e Buckminster Fuller.....	163
Figura 60 – Construção da Residência de Anne e Buckminster Fuller	163
Figura 61 – Interior da Residência de Anne e Buckminster Fuller	164
Figura 62 – Restauração da Residência de Anne e Buckminster Fuller	165
Figura 63 – Processo de Restauração da Residência de Anne e Buckminster Fuller	165
Figura 64 – Feira Mundial em 1967	166
Figura 65 – Desenho do Pavilhão Americano.....	167
Figura 66 - Incêndio na geodésica de Montreal, em 1976.....	168
Figura 67 - Biosfera de Montreal nos dias atuais	172
Figura 68 – Projeto Éden: Geodésicas parametrizadas.....	176
Figura 69 - Rede social interconectada do Projeto Éden	182
Figura 70 - Implantação do Projeto Éden.....	188
Figura 71 - Detalhamento do Projeto Éden	190
Figura 72 - Bioma de Floresta Tropical.....	190
Figura 73 – Bioma Mediterrâneo.....	191

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
PARTE I - CIBERNÉTICA DE PRIMEIRA ORDEM: O DESAFIO DA MÁQUINA IDEAL	11
CAPÍTULO 1 - HOMEOSTASE E AUTOPOIESIS NO PROCESSO DE PROJETO	15
1.1. CIBERNÉTICA DE PRIMEIRA ORDEM: A CIÊNCIA DAS MÁQUINAS IDEAIS.....	19
1.2. A MÁQUINA ADAPTATIVA SOB O PONTO DE VISTA ECOSISTÊMICO	35
CAPÍTULO 2 - A ARQUITETURA COMO MÁQUINA IDEAL	45
2.1. AUTOMAÇÃO EM FUNÇÃO DA ADAPTAÇÃO	47
2.2. MÁQUINA DE HABITAR: CONCEITO DYNAMION	49
2.3. MÁQUINA IDEAL CONTEMPORÂNEA: BEDZED	72
CONSIDERAÇÕES PARTE I	89
PARTE II - CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM: A VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA	93
CAPÍTULO 3 - REDES DE INTERAÇÕES E SINERGIA NO PROCESSO DE PROJETO	97
3.1. A REVISÃO DA CIBERNÉTICA NOS ANOS 1970	100
3.2. CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM: A VIABILIDADE DO SISTEMA	105
3.3. O SISTEMA VIÁVEL SOB O PONTO DE VISTA ECOSISTÊMICO	138
CAPÍTULO 4 - A ARQUITETURA COMO SISTEMA VIÁVEL	145
4.1. VIABILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA SISTEMATIZAÇÃO	148
4.2. BUCKMINSTER FULLER: DA GEOMETRIA ÀS GEODÉSICAS	150
4.3. SISTEMA VIÁVEL CONTEMPORÂNEO: PROJETO ÉDEN	176
CONSIDERAÇÕES PARTE II	195
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	199
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	203

INTRODUÇÃO

IMAGEM: M. C. ESCHER – METAMORFOSE

INTRODUÇÃO

A consideração aos recursos biológicos e ao meio ambiente, não só vem da resposta em se constituir uma arquitetura responsável, ou sustentável, mas de um entendimento de como funcionam os processos biológicos, como se organizam e o que representam em relação ao meio ambiente, social, econômico e cultural. Por vezes a essência de seu significado vai além de sua simples existência, como por exemplo, o reconhecimento de um rio como uma entidade. Na Nova Zelândia, em 2017, a tribo Maori conseguiu aprovar legalmente que o rio Whanganui fosse reconhecido como um indivíduo vivo, ou seja, um ancestral chamado *Te Awa Tupua*, e, portanto, com direitos humanos. Essa luta durou por volta de 140 anos, trazendo à população da tribo um reconhecimento de sua cultura, bem como a responsabilidade com o meio em que vivem (ROY, 2017). Segundo Gerrard Albert, o principal negociador da tribo *Whanganui iwi*,

Lutamos para encontrar uma aproximação na lei para que todos os outros possam entender que, do nosso ponto de vista, tratar o rio como uma entidade viva é a maneira correta de abordá-lo, como um todo indivisível, em vez do modelo tradicional dos últimos 100 anos de tratá-lo de uma perspectiva de propriedade e gestão¹ (ALBERT apud ROY, 2017).

A apreensão de outras formas de agir pode mudar a percepção dos objetivos de uso de um meio através de outros preceitos que contemplem o respeito pelo habitat, alterando, portanto, o ponto de vista do emprego dos biossistemas.

O tratamento dado à natureza pelos nativos é de deferência, sejam rios, montanhas, mares, em que “[...] em vez de sermos mestres do mundo natural, somos parte disso²” (ALBERT apud ROY, 2017). O entendimento de que a natureza não nos pertence, mas que fazemos parte dela é uma mudança de consciência que nos leva a estabelecer nossos princípios regulamentares, bem como a compreensão da existência que o meio ecológico possui.

¹ Do original: “We have fought to find an approximation in law so that all others can understand that from our perspective treating the river as a living entity is the correct way to approach it, as in indivisible whole, instead of the traditional model for the last 100 years of treating it from a perspective of ownership and management” (ALBERT apud ROY, 2017).

² Do original: “[...] rather than us being masters of the natural world, we are part of it” (ALBERT apud ROY, 2017).

Considerando o apreço pelo conhecimento da ecologia e a aceitação de suas características, a observação de processos ecossistêmicos pode promover uma aproximação aos princípios biológicos, por meio de estruturação de organizações cibernéticas em prol de uma inovação para o processo de projeto arquitetônico.

Por vezes os detalhes de um projeto nos fazem perder a compreensão de um todo mais holístico. Na observação do processo de projeto, pode-se entendê-lo, mas também aprimorar suas instâncias e, portanto, com a observação do processo e aplicações de indicadores para desempenho, se identificou a importância de investigar a ação cibernética na arquitetura, através dos ecossistemas. Assim, os ecossistemas apresentam um importante papel na formulação de conceitos chave para uma arquitetura responsável, que pode ser conduzida através da cibernética, dando assim o nome para a dissertação como “Cibernética em ação: Arquitetura vista através dos ecossistemas”.

A Cibernética surgiu na década de 1940 diante da investigação de processamento de informações do cérebro. A observação e reprodução dos sistemas de organizações sempre foi o seu principal foco, bem como a interdisciplinaridade que a envolve, uma vez que os cientistas tinham suas profissões e, além disso, desenvolviam e exerciam os princípios e conceitos cibernéticos.

A Cibernética teve dois momentos importantes chamados de Primeira e Segunda Ordem. Francisco Varela³ definiu ambos os períodos como: “Cibernética de Primeira Ordem: A Cibernética dos sistemas observados”⁴ (VARELA, 1984, p. xviii, tradução nossa), e “Cibernética de Segunda Ordem: A Cibernética de sistemas de observação”⁵ (VARELA, 1984, p. xviii, tradução nossa).

A Primeira Ordem refere-se ao período entre 1940 e 1960, com o início das definições e organizações para consolidar a cibernética como área de estudos. Ross Ashby foi muito importante nessa fase inicial, elaborando conceitos que foram incorporados em outras disciplinas como: Informática, Matemática, Biologia, Sociologia, Medicina e Psicologia (CANTÚ, 2013. Figura 1). No período da Cibernética de Segunda Ordem, Ashby seguiu influenciando outras disciplinas, como

³ Francisco Varela (1946-2001): Nascido no Chile, com graduação em Biologia, estudou Filosofia e consciência. Escreveu sobre sistemas vivos e cognição: autonomia e modelos lógicos.

⁴ Do original: “First order cybernetics: The cybernetics of observed systems” (VARELA, 1984, p. xviii).

⁵ Do original: “Second order cybernetics: The cybernetics of observing systems” (VARELA, 1984, p. xviii).

a Filosofia. Já com as propostas de um segundo ciberneticista, chamado Stafford Beer, a Cibernética passou a ser mais reconhecida como um campo autônomo, se aprofundando em questões como governança própria e coletiva (CANTÚ, 2013. Figura 1).

Figura 1 - Influência das teorias de Ashby e Beer na Cibernética de Primeira e Segunda Ordem

Fonte: CANTÚ, 2013. Imagem modificada pela autora.

Com a formalização da ciência das máquinas ideais de Ashby, a Cibernética se tornou um domínio importante que passou a fazer parte de outras disciplinas. A Biologia cresceu com os estudos cibernéticos, principalmente em questões como homeostase e ecologia (CANTÚ, 2013) e mais tarde, a cibernética influenciou no processo de projeto arquitetônico, como pode ser visto ao longo da dissertação.

Além da relevância da Cibernética na construção de processos organizacionais, a inter-relação entre a área de Biologia e processo de projeto arquitetônico são relevantes para o andamento da arquitetura responsável, e que vem ocorrendo em uma etapa de transformação da consciência e dos

conhecimentos que integram os dois. Essa afinidade é vista por Hugh Dubberly⁶ como:

A prática de projeto emergente é amplamente baseada em informações - inundada nas tecnologias de processamento de informações e redes. Cada vez mais, o projeto compartilha com a biologia um foco no fluxo de informações, em redes de atores que operam em vários níveis e trocam a informação necessária para equilibrar comunidades de sistemas⁷ (DUBBERLY, 2008, p. 1-2, tradução nossa).

Dessa forma, o momento atual é propício para rever a busca pelo equilíbrio nos princípios de organização, e isso inclui o processo de projeto arquitetônico. Dubberly entende que a informação perpassada pela rede que compõe o sistema pode trazer equilíbrio ao mesmo, e assim, se assemelhar ao fluxo de informações que transcorrem na biologia. A execução desses meios de processamento de informações e redes pode ser homologada pelos meios tecnológicos dos quais dispomos, no qual cada vez mais podemos nos aproximar das organizações ecossistêmicas. A seguir, na Figura 2, Dubberly compara dois momentos do processo projetual, considerando o objeto mecânico do processo industrial, bem como o sistema orgânico em função do processo informacional. Podem-se observar as diferenças entre esses dois meios de organização processual em questões ligadas às instâncias da Arquitetura:

⁶ Hugh Dubberly (1958-): Nascido em Kansas, Estados Unidos. Estudou design ambiental, design gráfico. Relaciona a área de Arquitetura com Ecologia e Ecossistema, pois entende que os processos devem ser colaborativos e integrados, como ocorre na natureza.

⁷ Do original: "Emerging design practice is largely information based—awash in the technologies of information processing and networking. Increasingly design shares with biology a focus on information flow, on networks of actors operating at many levels and exchanging the information needed to balance communities of systems" (DUBBERLY, 2008, p. 1-2).

Figura 2 - Princípios de organização como sistema mecânico e orgânico

Princípios de organização	
Função específica	Função flexível e ampla
Superior	Inteiro
Responsabilidade de cima para baixo	Responsabilidade
Plano de trabalho detalhado	Plano de adaptação
Plano para cada coisa	Plano para tudo
Plano	Plano
Relações hierárquicas rígidas	Relações flexíveis e adaptáveis
Ação	Reação
Previsão	Adaptação constante
Responsabilidade	Responsabilidade
Responsabilidade detalhada	Responsabilidade
Plano de trabalho	Plano de adaptação
Plano de trabalho	Plano de adaptação
Plano de trabalho	Plano de adaptação
Plano de trabalho	Plano de adaptação

Fonte: DUBBERLY, 2008. p. 3. Imagem traduzida pela autora.

Dubberly entende o sistema orgânico como distanciado do mecânico, e considera que as atribuições diferem em vários aspectos, nos chamando atenção para os autores de paradigmas, como Charles Darwin, que alterou a forma de pensar sobre as adaptações dos organismos e foi uma importante base das pesquisas de Ashby, como veremos no capítulo 1.

Outra diferença entre os dois princípios de organização tratados por Dubberly, o mecânico e o orgânico, é a caracterização da metáfora avaliada pelo autor em função dos dois períodos. Enquanto o primeiro foi determinado como um mecanismo de um relógio, em constante movimento, o segundo foi categorizado como um sistema ecológico. Ambos buscam situações adversas, a simplicidade e a complexidade respectivamente, que refletem diretamente na escolha das metáforas. O controle de cima para baixo representa uma hierarquia convencional à qual estamos habituados, já em um sistema orgânico, este pode vir de baixo para cima. Em relação às atribuições de responsabilidade, em um sistema mecânico há uma situação menos fluida do que no outro tipo de organização, no qual a conversa e a facilitação respaldam a concepção do projeto de maneira mais integrada. Como objeto final, o sistema orgânico apresenta-se em constante evolução, aberto às possibilidades de adaptações.

Um processo de projeto arquitetônico estruturado organicamente pode refletir as características ecossistêmicas frente aos itens salientados anteriormente, e, por conseguinte representar questões sustentáveis:

O projeto sustentável está emergindo como uma questão de preocupação intensa para os projetistas, os fabricantes e o público. O mesmo tipo de pensamento de sistemas exigido para o software e o projeto de serviço também é necessário para o projeto sustentável. Isso proporciona um maior ímpeto para mudar nossa abordagem de educação de projeto⁸ (DUBBERLY, 2008, p. 7, tradução nossa).

Esse foco se torna relevante para o processo de projeto, de forma a iniciar outra etapa para aproximar as questões orgânicas do gerenciamento projetual.

A união das questões cibernéticas frente às organizações ecossistêmicas pensadas para o processo de projeto arquitetônico, podem promover outro entendimento a respeito da responsabilidade que um gerenciador de projeto assume, proporcionando uma revisão na forma de se criar um meio que possibilite o desenvolvimento de produtos homeostáticos, bem como a criação de subsistemas integrados em rede de comunicações, ocasionando premissas para projetos responsáveis.

A dissertação estrutura-se em duas partes.

Parte I – Cibernética de Primeira Ordem: o Desafio da Máquina Ideal é dividida em dois capítulos intitulados *Capítulo 1 – Homeostase e Autopoiesis no Processo de Projeto*, que trata da investigação dos conceitos ligados a máquina ideal de Ross Ashby em função de modelos ecossistêmicos que respaldam as teorias cibernéticas; e, o *Capítulo 2 – A Arquitetura como Máquina Ideal*, como análises de projetos com a avaliação de suas arquiteturas por meio de indicadores cibernéticos e ecossistêmicos.

Parte II – Cibernética de Segunda Ordem: A Viabilização do Sistema é dividida também em dois capítulos chamados *Capítulo 3 – Redes de Interações e Sinergia no Processo de Projeto*, que possui estudos referentes à viabilização do sistema de Stafford Beer em função de organizações ecossistêmicas que auxiliaram na consolidação do Modelo de Sistema Viável e da estratégia *Syntegrity*, ambos cibernéticos; e, o *Capítulo 4 – A Arquitetura como Sistema Viável* com análise de projetos sob os preceitos cibernéticos e ecossistêmicos.

⁸ Do original: "Sustainable design is emerging as an issue of intense concern for designers, manufacturers, and the public. The same sort of systems thinking required for software and service design is also required for sustainable design. This provides further impetus for changing our approach to design education" (DUBBERLY, 2008, p. 7).

Para o desenvolvimento da pesquisa, esta foi estruturada de forma que houvesse meio de se construir um pensamento cibernético ecológico para os processos de projeto arquitetônico, de forma que os conceitos de ciência das máquinas ideais e os modelos de viabilidade dos sistemas fossem norteadores dos gerenciamentos de projeto para obter um meio mais sustentável.

As bases que direcionam a dissertação foram compostas por etapas teóricas para o avanço das compreensões teóricas que permeiam a cibernética e a ecologia, bem como as análises de projetos selecionados para verificar a eficiência na utilização dos conceitos estudados. Foram realizadas pesquisas bibliográficas das quais foram consultados 24 livros, 23 artigos de periódicos e por volta de 34 outros canais como artigos em jornais e sites, bem como vídeos. O levantamento desses materiais permitiu um conhecimento abrangente sobre as informações coletadas para a pesquisa, tanto teórica como de análise de projetos. Além de consultas bibliográficas, foram feitas visitas para reconhecimento de alguns locais, em específico, aqueles que se encontram na Inglaterra, o BedZED e o Projeto Éden. Dessas visitas se tomou consciência do lugar e funcionamento, provendo mais materiais para o âmbito da pesquisa.

Alguns recortes foram necessários, de maneira a delimitar a amplitude da relação entre as três áreas distintas tratadas na dissertação, sendo elas, a Cibernética, a Ecologia de Ecossistema e o Processo de Projeto Arquitetônico. Dentre os recortes temporais, em relação à Cibernética, foram investigadas a Cibernética de Primeira Ordem (1940-1960) e de Segunda Ordem (1960-1990), acompanhados das demais bibliografias da área de Ecologia de Ecossistemas. No caso dos projetos selecionados, reflete o período entre as décadas de 1920 a 1950, referente à Cibernética de Primeira Ordem, bem como um segundo momento referente ao período contemporâneo, que se aplicou a Cibernética de Segunda Ordem. Desta forma, contemplamos a atuação de arquitetos próximos às duas Ordens Cibernéticas, atualizando os processos nos dias atuais. Em função dos temas tratados, tanto a Cibernética como a Ecologia abarcam uma ampla variedade de assuntos, e, para tal, foram selecionados autores cibernéticos relevantes para a consolidação da área, trazendo conotações importantes para o processo de projeto. Ross Ashby foi relacionado com a automação arquitetônica, sendo suas bases a homeostase e a autopoiesis, enquanto que Stafford Beer compreende a viabilização do sistema sob os aspectos de redes de interações em subsistemas.

PARTE I -

CIBERNÉTICA DE PRIMEIRA ORDEM: O DESAFIO DA MÁQUINA IDEAL

IMAGEM: M. C. ESCHER - OUROBORUS

INTRODUÇÃO

A Parte I trata de três âmbitos relevantes na pesquisa divididos em dois capítulos. No capítulo *HOMEOSTASE E AUTOPOIESIS NO PROCESSO DE PROJETO* foram investigadas as duas primeiras abordagens que tratam dos fundamentos da pesquisa, no qual a primeira foi a discussão sobre a Cibernética de Primeira Ordem relacionada à ciência da máquina ideal elaborada por William Ross Ashby. A segunda abordagem é referente aos modelos ecossistêmicos que foram investigados para respaldar os conceitos desenvolvidos pelo ciberneticista a fim de apontar indicadores. No capítulo seguinte, *A ARQUITETURA COMO MÁQUINA IDEAL*, trata das análises de estudos de caso, sendo eles o Conceito Dymaxion do arquiteto Buckminster Fuller, coexistente à ciência da máquina ideal de Ashby, bem como o projeto contemporâneo BedZED do arquiteto Bill Dunster.

CAPÍTULO 1 - HOMEOSTASE E AUTOPOIESIS NO PROCESSO DE PROJETO

IMAGEM: M. C. ESCHER - OUROBORUS

INTRODUÇÃO

O ciberneticista inglês Andrew Gordon Speedie Pask⁹ publicou um artigo em 1969, *The Architectural Relevance of Cybernetics*, em que faz uma associação entre a Arquitetura e a Cibernética. Através desse artigo é possível vislumbrar o quanto a Cibernética pode conduzir o desenvolvimento dos processos de projeto. Segundo Pask, a Cibernética e a Arquitetura mantêm uma relação íntima, já que compartilham, segundo ele, uma filosofia comum de pesquisa operacional, em que:

[...] os arquitetos são, antes de tudo, designers de sistemas que foram forçados, nos últimos 100 anos aproximadamente, a ter um interesse crescente pelas propriedades do sistema organizacional (ou seja, não tangíveis) de desenvolvimento, comunicação e controle¹⁰ (PASK, 1969, p. 494, tradução nossa)

Conforme problemas de diferentes níveis de projeto foram surgindo, aquilo que o autor chama a ‘pura’ arquitetura com suas regras do século XIX, não supria a solução dessas questões, e por isso, alguns arquitetos desenvolveram projetos de sistemas, incluindo necessidades dos edifícios para se tornarem “[...] parte de um ecossistema de uma sociedade humana”¹¹ (PASK, 1969, p. 494, tradução nossa). O artigo de Pask é importante no contexto do primeiro capítulo sobre a ciência das máquinas ideais, baseado na cibernética de primeira ordem, pois evidencia sua relação com o processo de projeto. Pask propôs a introdução de uma teoria para responder às limitações das metodologias decorrentes da industrialização da primeira fase e dos princípios modernos elencados nos CIAMs (Congresso Internacional de Arquitetura Moderna).

A respeito das máquinas como modo de viver, Pask especulou que algumas áreas “[...] guiadas pela teoria cibernética na arquitetura” teriam avanços, e dentre elas o funcionalismo dos projetos e a aproximação com a automação:

⁹ Andrew Gordon Speedie Pask (1928-1996): Nascido em Derby, na Inglaterra, se graduou em ciências naturais e medicina, desenvolveu dispositivos computacionais controlados para luzes de palcos de teatro, computadores adaptativos com sistema de aprendizagem, discursa sobre a Teoria da Conversação e sobre Sistemas Auto Organizados. Faz parte da Cibernética de Segunda Ordem (1960 a 1990) no qual o objetivo é observar o observador do processo.

¹⁰ Do original: “[...] Architects are first and foremost system designers who have been forced, over the last 100 years or so, to take an increasing interest in the organizational (i.e. non-tangible) system properties of development, communication and control” (PASK, 1969, p. 494).

¹¹ Do original: “[...] part of the ecosystem of a human society” (PASK, 1969, p. 494).

O ponto alto do funcionalismo é o conceito de uma casa como uma ‘máquina para viver’. Mas a tendência é em direção a uma máquina que atua como uma ferramenta que serve o habitante. Esta noção, acredito, será refinada ao conceito de um ambiente com o qual o habitante coopera e em que ele pode externalizar seus processos mentais, isto é, o mutualismo será realçado em comparação ao mero funcionalismo. Por exemplo, a máquina para viver vai aliviar o habitante da necessidade de armazenar informações na memória e da necessidade de realizar cálculos, além de ajudar com tarefas mais óbvias, como o gerenciamento do lixo e lavar pratos. Além disso, ela despertará seu interesse bem como simplesmente responderá às suas demandas¹² (PASK, 1969, p. 496, tradução nossa).

Dessa forma, Pask expôs claramente suas ideias a respeito da relação entre a ‘máquina de viver’ e as necessidades dos usuários, de modo que acompanhe as demandas dos habitantes. À vista disto, a tecnologia deveria ser usada para que um edifício promovesse a automação relevante para as conveniências humanas. Já em 1969, Pask cita o trabalho desenvolvido por Warren Mortimer Brodey¹³ e sua equipe no laboratório de ecologia do ambiente, que apresentava controles computacionais que captavam informações tácteis e visuais de materiais que possuíam sensores, e repassavam informações para os computadores. Sem a presença de humanos no ambiente, os materiais se estabilizavam com as variáveis pré-programadas e com a presença de humanos, criava-se um diálogo no qual o sistema “[...] era capaz de aprender sobre e se adaptar aos padrões de comportamento”¹⁴ (PASK, 1969, p. 496, tradução nossa), havendo duas situações possíveis: a primeira em que o ‘ambiente reativo é o controlador’, e a segunda em que o ambiente ‘é controlado pelos habitantes’ (PASK, 1969, p. 496).

Logo, a relevância da ciência de máquinas ideais como linha guia de decisões projetuais através da automação arquitetônica, se torna clara desde o início do século XX.

¹² Do original: “The high point of functionalism is the concept of a house as a ‘machine for living in’. But the bias is toward a machine that acts as a tool serving the inhabitant. This notion will, I believe, be refined into the concept of an environment with which the inhabitant cooperates and in which he can externalize his mental processes, i.e. mutualism will be emphasized as compared with mere functionalism. For example, the machine for living in will relieve the inhabitant of the need to store information in memory and the need to perform calculations as well as helping out with more obvious chores like garbage disposal and washing up dishes. Further, it will elicit his interest as well as simply answering his enquiries” (PASK, 1969, p. 496).

¹³ Warren M. Brodey (1924-): Nascido em Toronto, no Canadá, graduado em medicina, estudou psiquiatria, trabalhou para a NASA e MIT ao longo da sua vida, era líder do *Environmental Ecology Laboratory* entre 1968 e 1970, estudou Cibernética e sistemas homem-máquina.

¹⁴ Do original: “[...] is able to learn about and adapt to his behaviour pattern” (PASK, 1969, p. 496).

Neste primeiro capítulo revisaremos as questões sobre a ciência formal de máquinas ideais, desenvolvida pelo ciberneticista inglês William Ross Ashby¹⁵ na década de 1940. Nosso objetivo é associar o desenvolvimento das teorias cibernéticas com o foco ecossistêmico e com a evolução dos processos de projeto. A alocução será feita através de revisão bibliográfica dividida em duas partes: Cibernética, na qual se insere a leitura direta de Ross Ashby e de autores que discursam sobre o seu trabalho; e, Ecologia de Ecossistemas, com leituras sobre conceitos e modelos na área de Biologia, tais como os apresentados por James Ephraim Lovelock¹⁶ e Eugene Odum¹⁷.

1.1. CIBERNÉTICA DE PRIMEIRA ORDEM: A CIÊNCIA DAS MÁQUINAS IDEAIS

O foco deste subcapítulo é entender a ciência das máquinas ideais, desenvolvida inicialmente pelo ciberneticista inglês William Ross Ashby. A cibernética foi primeiramente traçada pelo matemático e ciberneticista Norbert Wiener¹⁸, mas segundo Javier Livas Cantú¹⁹ (CANTÚ, 2013) foi Ashby quem estabeleceu a Cibernética como uma ciência formal. Ele formulou inúmeras teorias complementares, como mostra a Figura 3.

¹⁵ William Ross Ashby (1903-1972): Nascido em Londres, Inglaterra, se graduou em Zoologia e se especializa mais tarde em psiquiatria, passa 40 anos da sua vida em um processo de entender o cérebro e tentar reproduzi-lo como uma máquina. Faz parte Cibernética de Primeira Ordem (1940 a 1960) no qual o objetivo é observar o processo.

¹⁶ James Ephraim Lovelock (1919-): Nascido na Inglaterra, ele estudou medicina, pesquisador e inventor de vários equipamentos da NASA, ambientalista, passou parte de sua vida estudando e escrevendo livros sobre o entendimento da terra como um superorganismo e as condições de adaptações e relações de um ecossistema.

¹⁷ Eugene P. Odum (1913-2002): Nascido nos Estados Unidos, ele estudou Zoologia e Ecologia, foi pioneiros nas ideias ecológicas e disseminou a consciência sobre ecossistemas e a disciplina como transdisciplinar.

¹⁸ Norbert Wiener (1894-1964): Nascido nos Estados Unidos, graduado em matemática aos 14 anos, aos 18 obteve o doutorado em lógica, trabalhou no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) com movimento de partículas, trabalhou na Segunda Guerra Mundial com problemas matemáticos e é considerado o pai fundador da Cibernética.

¹⁹ Javier Livas Cantú (1946-): Nascido no México, graduado em Direito e mestre em administração de empresas, estudou Cibernética e se tornou ativista em 1970 para pregar suas ideias, se envolveu com a política desde o final de 1970 lutando pela democracia e direitos. Possui muitos vídeos no Youtube[®] sobre temas relacionados à Cibernética.

Figura 3 - Teorias complementares de Ashby

Fonte: CANTÚ, 2013.

Os conceitos apresentados na Figura 3 foram desenvolvidos por Ashby para entender as condições de equilíbrio das máquinas ideais. Para isso, investigou questões como sistema dinâmico, *feedback*²⁰ positivo e negativo, estabilidade, variáveis essenciais, homeostase²¹ e adaptação. Foi durante a década de 1940 que Ashby desenvolveu suas teorias, Charles Darwin²² já tinha abordado algumas dessas questões e, portanto, Ashby resolveu guiar-se pelas características biológicas, afirmando em suas anotações: “Tendo decidido (o céu me perdoe, mas é

²⁰ *Feedback*: palavra inglesa que significa retroalimentação, ou seja, a capacidade de um sistema voltar ao seu estado inicial, representado através de curvas, formando ciclagens de retorno.

²¹ Homeostase: do grego HOMEIO (similar/ igual) + STASIS (estático), que significa a condição de manter um organismo equilibrado através de adaptação, tendendo-o a voltar para o estado estável e capaz de realizar suas atividades fisiológicas. Termo cunhado em 1932 por Walter Cannon (1871-1945).

²² Charles Robert Darwin (1809-1882): Nascido na Inglaterra, ele foi um naturalista, geólogo e biólogo. Junto com Alfred Wallace, os dois naturalistas apresentaram a teoria de evolução, a proposta de descendência em um comum ancestral a todos os seres vivos e a seleção natural.

minha convicção) seguir os passos de Darwin”²³ (ASHBY, 1945, p. 1956, tradução nossa).

Algumas das teorias de Ashby, que se aproximam e se relacionam com automação em arquitetura, serão tratadas ao longo do texto para o entendimento mais profundo do funcionamento das máquinas ideais, sendo explicados mais a frente neste capítulo (ver p. 22). As teorias complementares propostas por Ashby foram importantes para o avanço das ideias cibernéticas, aplicadas em outras áreas do conhecimento, como podemos ver na Figura 4.

Figura 4 - Áreas de conhecimento advindas da Cibernética de Primeira Ordem

Fonte: CANTÚ, 2013.

A partir da formalização da Cibernética como uma ciência, outras áreas de conhecimento contribuíram para o entendimento dos mecanismos adaptativos, e até foram criados novos campos de estudos que tinham o comportamento de máquinas como premissa para o desenvolvimento de suas subteorias, promovendo inter-relação entre diversas áreas (CANTÚ, 2013).

Gordon Pask, a respeito da interdisciplinaridade das áreas, comenta em 1969, que:

²³ Do original: "Having decided (Heaven forgive me, but it is my conviction) to follow in Darwin's footsteps" (ASHBY, 1945, p. 1956).

Conceitos em disciplinas muito diferentes (notadamente antropologia social, psicologia, sociologia, ecologia e economia) serão unificados com os conceitos de arquitetura para produzir uma visão adequadamente ampla de entidades como ‘civilização’, ‘cidade’ ou ‘sistema educacional’²⁴ (PASK, 1969, p. 496, tradução nossa).

Portanto, nesta época, pode-se observar, junto à formação do arquiteto, o aprimoramento do processo de projeto arquitetônico, assegurando um desempenho eficiente e constituindo-se em uma área com intenções interdisciplinares. Para o êxito dos processos e resultados arquitetônicos, a interdisciplinaridade certifica outros conhecimentos, trazendo mais competência e entendimento dos contextos, de maneira a completá-los. Por exemplo, vê-se a necessidade de aproximação de áreas biológicas para explorar novos meios de posicionar a arquitetura como responsiva e adaptativa.

Vista a importância das máquinas como estruturas adaptativas, seguem subcapítulos que ajudarão a compreender teorias complementares relevantes para o entendimento da automação, dentre elas: as variáveis essenciais, que estabelecem as condições limites fisiológicas; a estabilidade das partes em relação ao todo holístico; a ultra estabilidade, relacionada às curvas de *feedback* do organismo com relação ao ambiente; a adaptação e homeostase; seguidos da descrição de um modelo para ilustrar de maneira prática as qualidades adaptativas da máquina ideal construída por Ashby, o Homeostato. Dessa forma será possível observar a progressão das ideias que o levaram a desenvolver uma máquina para testar a viabilidade da adaptação e homeostase com mecanismos automatizados.

MÁQUINA OU ORGANISMO?

Ashby, com a sua formação na área biológica, se interessou em se aprofundar em mecanismos encontrados nos sistemas biológicos que garantem o controle das atividades do corpo humano. Com esses estudos, desenvolveu conceitos como adaptação, estabilidade e equilíbrio, como descrito por Peter Asaro

²⁴ Do original: “Concepts in very different disciplines (notably social anthropology, psychology, sociology, ecology and economics) will be unified with concepts of architecture to yield an adequately broad view of such entities as ‘civilization’, ‘city’ or ‘educational system’” (PASK, 1969, p. 496).

(2008. p. 149). Esses conceitos foram investigados por ele para perceber que, quando há uma situação adversa no corpo humano, este reage para atingir novamente a estabilidade, procurando um equilíbrio dinâmico, que acontece em todo o corpo e em todo momento (ASHBY, 1960, p. 61). Essa adequação aos estímulos externos foi importante para desenvolver estudos de base para a automação na Arquitetura.

Em seu livro *Design for a brain* (ASHBY, 1960. 286 p.), Ashby descreve o organismo como uma máquina (ASHBY, 1960, p. 30). Ele considera que a complexidade dos sistemas biológicos, seja do organismo ou do processo que ocorre dentro do mesmo, não difere de outras questões, abordando dessa forma a natureza como uma máquina. Aprofundando a proposta, Ashby explica que, o organismo biótico (vivo) tem uma relação de retroalimentação em termos funcionais com o meio biótico e abiótico (vivo ou não) e mais especificamente nas palavras de Ashby: “O organismo afeta o ambiente, e o ambiente afeta o organismo: tal sistema é dito como sendo um sistema com retroalimentação”²⁵ (ASHBY, 1960, p. 37, tradução nossa).

A relação entre o ambiente e o organismo é considerada como um sistema simples por Ashby, no qual anatomicamente e fisicamente há uma separação bastante explícita, mas em termos de funcionalidade, a divisão entre eles se torna bastante vaga e o limite se torna quase obsoleto (ASHBY, 1960, p. 40).

Com esta forma de compreender as relações entre o organismo e seu meio, seja pela retroalimentação das funções e informações, seja pela adaptação que o organismo apresenta como resposta às variáveis, de acordo com Andrew Pickering, Ashby introduziu a ideia de equilíbrio dinâmico, no qual os distúrbios causados em um organismo, ou máquina, provocam forças opostas para restabelecer as condições iniciais e atingir novamente a estabilidade (PICKERING, 2010, p. 98). Nesse cenário, as variáveis consideradas essenciais tendem a se manter estáveis, configurando-se para Ashby como a propriedade chave da vida (PICKERING, 2010, p. 98). Os processos adaptativos orgânicos são mecanismos homeostáticos que podem ser encontrados na busca pelo equilíbrio dinâmico dos níveis de pH e açúcar do sangue, por exemplo (PICKERING, 2010, p. 98), sendo que alguns desses

²⁵Do original: “The organism affects the environment, and the environment affects the organism: such a system is said to have ‘feedback’” (ASHBY, 1960, p. 37).

mecanismos podem ocorrer através de condições genéticas pré-estabelecidas e outros são adquiridos através das relações com o mundo (PICKERING, 2010, p. 99).

As variáveis essenciais foram estudadas, ponderadas e definidas por Ashby como:

Toda espécie tem um número de variáveis que estão intimamente relacionadas com a sobrevivência e ligadas de maneira dinâmica, de forma que as mudanças substanciais em qualquer uma, conduzem, cedo ou tarde, as mudanças substanciais em outras. [...] Essas variáveis importantes e intimamente relacionadas serão referidas como as variáveis essenciais dos animais²⁶ (ASHBY, 1960, p. 42, tradução nossa).

Sendo assim, Ashby compreendeu a relação entre o ambiente e o organismo como uma relação na qual o último reage aos estímulos externos por meio de limites internos que podem constituir um paradigma, no qual existe uma correlação alquímica entre o microcosmo (no caso do autor, o cérebro) e o macrocosmo (o mundo), espelhados entre si e ecoando suas influências (PICKERING, 2010, p. 121).

A ESTABILIDADE DAS PARTES PELO TODO

Outra teoria complementar aqui elencada é a que diz respeito à estabilidade holística de um sistema, que acontece através da sinergia entre suas partes. A relevância deste subcapítulo se dá pelo entendimento da conjunção deste com os diversos segmentos elencados nesse trabalho para uma automação arquitetônica.

A estabilidade do organismo se refere ao todo, e esta é dada através do arranjo das partes, ou seja, “[...] pertence apenas à combinação; e não pode ser relacionada às partes quando consideradas separadamente”²⁷ (ASHBY, 1960, p. 56, tradução nossa).

²⁶ Do original: “Every species has a number of variables which are closely related to survival and which are closely linked dynamically so that marked changes in any one leads sooner or later to marked changes in the others [...] These important and closed linked variables will be referred to as the essential variables of the animal” (ASHBY, 1960, p. 42).

²⁷ Do original: “[...] belongs only to the combination; it cannot be related to the parts considered separately” (ASHBY, 1960, p. 56).

Sob esse ponto de vista, a afirmação de Ashby se assemelha às considerações elaboradas por Sacha Kagan²⁸, sobre a descrição de um sistema:

Existem sistemas dentro de outros sistemas: Seu corpo é um sistema no qual interagem um sistema linfático, um sistema digestivo, etc. Você pode ir até a mais ínfima partícula e até todo o universo: Todos os sistemas são, eles próprios, incorporados em uma rede gigante, na qual tudo está conectado. [...] O que já deveria ser observado agora é que a maioria dos sistemas tende a manter sua estabilidade. Como eles fazem isso? Graças às flutuações e ajustes a realidades em mudança: As diferentes partes do sistema são interdependentes umas das outras e/ou do ambiente do sistema²⁹ (KAGAN, 2014, p. 96, tradução nossa).

À vista das definições de Kagan foi possível compreender não só a relação de interdependência entre as partes, mas também a projeção das características de sistemas dentro de sistemas que, associadas entre si, conduzem à estabilidade.

Ashby definiu algumas premissas sobre a relação entre as partes em função da estabilidade do todo. Para tal, exemplificou-as como:

- a) Dois sistemas podem ser unidos para que eles atuem e interajam um com o outro para formar um único sistema: saber que os dois sistemas quando separados eram estáveis é não saber nada sobre a estabilidade do sistema formado por sua junção: ele pode ser estável ou instável.
- b) Dois sistemas, ambos instáveis, podem se unir para formar um todo que seja estável.
- c) Dois sistemas podem formar um todo estável se unidos de uma forma, e podem formar um todo instável se forem unidos de outra maneira.
- d) Em um sistema estável, o efeito da fixação de uma variável pode tornar o restante instável.

Esses exemplos poderiam ser multiplicados quase indefinidamente. Eles ilustram a regra de que a estabilidade (ou instabilidade) de um sistema dinâmico depende das partes e suas inter-relações como um todo³⁰ (ASHBY, 1960, p. 56-57, tradução nossa).

²⁸ Sacha Kagan (1980-): Nasceu na França, graduado em História, estudou sociologia política e economia e empreendedorismo cultural, atualmente é membro do *Institute of Sociology and Cultural Organization* na *Leuphana University* em Lüneburg, na Alemanha. Defende as teorias de Complexidade de Edgar Morin.

²⁹ Do original: "Systems exist within other systems: Your body is a system in which are interacting a lymph-blood system, a digestive system, etc. You can go down to the tiniest particle and up to the whole universe: All systems are themselves nodes embedded in a giant network in which everything is connected. [...] What should be noted already now is that most systems tend to maintain their stability. How do they do that? Thanks to fluctuations and adjustments to changing realities: The different parts of the system are interdependent with each other and/or with the system's environment" (KAGAN, 2014, p. 96).

³⁰ Do original: "a) Two systems may be joined so that they act and interact on one another to form a single system: to know that the two systems when separate were both stable is to know nothing about the stability of the system formed by their junction: it may be stable or unstable. b) Two systems, both unstable, may join to

A relação entre os sistemas pode ou não representar uma estabilidade, no entanto, é a inter-relação entre as partes que irá ou não promover esse equilíbrio, formando uma rede variada e complexa.

ULTRA ESTABILIDADE

A seguir iremos apresentar questões a respeito de outra teoria complementar de Ashby, que define um sistema com ultra estabilidade e seus encadeamentos.

Um organismo com sistema ultra estável, conceito introduzido por Ashby em 1945 (PICKERING, 2010, p. 100), possui características referentes à adaptação do mesmo. Deste modo, um sistema composto pelo organismo e seu meio de reação ao ambiente, caracteriza um ciclo de retroalimentação, no qual um distúrbio do ambiente que atinge o organismo recebe uma resposta imediata do mesmo (ASHBY, 1960, p. 80).

Ao aumentar a complexidade do sistema, temos o ambiente, o organismo e a área de reação, configurando além do primeiro ciclo de retroalimentação, um segundo ciclo de retroalimentação, no qual o ambiente atua sobre as variáveis essenciais ao organismo, de acordo com as condições dos limites fisiológicos (ASHBY, 1960, p. 82-83). A maior diferença entre os dois ciclos de retroalimentação que compõem o sistema de reação entre o organismo e o ambiente é que “A primeira retroalimentação tem o seu papel dentro de cada reação, e a segunda determina qual reação deve acontecer”³¹ (ASHBY, 1960, p. 84, tradução nossa).

A seguir podemos ver uma imagem que ilustra a retroalimentação (Figura 5). O ciclo 1 mostra a primeira relação de reação entre o organismo e o ambiente, e o ciclo 2 representa a segunda retroalimentação, que responde aos estímulos do ambiente em função dos limites das variáveis essenciais.

form a whole which is stable. c) Two systems may form a stable whole if joined in one way, and may form an unstable whole if joined in another way. d) In a stable system the effect of fixing a variable may be to render the remainder unstable. Such examples could be multiplied almost indefinitely. They illustrate the rule that the stability (or instability) of a dynamic system depends on the parts and their interrelations as a whole” (ASHBY, 1960, p. 56-57).

³¹Do original: “The first feedback plays its parts within each reaction; the second determines which reaction shall occur” (ASHBY, 1960, p. 84).

Figura 5 – Variáveis essenciais

Legenda - Relação do organismo com o ambiente em função dos ciclos de retroalimentação 1 e 2, em função do sucesso ou não por tentativa e erro.

Fonte: ASHBY, 1960. p. 83. Imagem traduzida pela autora.

Para Ashby, o processo de tentativa e erro se configura em um importante processo de armazenagem de dados que colaboram com as respostas do organismo em função das variáveis essenciais perturbadas. De certa forma, o sistema pode ter sucesso com a primeira tentativa, mas as situações causadas pelos erros das tentativas ao longo do processo asseguram a coleta de informações necessárias para que a adaptação seja alcançada, garantindo um estado superior para o sucesso da mesma (ASHBY, 1960, p. 83).

De acordo com essas definições é possível absorver a associação que ocorre entre um meio externo e um organismo. Para tanto, poderemos imaginar uma automação em edifícios que reflita na configuração de variáveis essenciais e na capacidade de reação dos mecanismos às mudanças do ambiente.

ADAPTAÇÃO POR MEIO DA HOMEOSTASE

O subcapítulo que se segue é relacionado à adaptação sob o conceito de homeostase. A homeostase, já citada anteriormente, é a capacidade de um sistema conseguir retornar ao equilíbrio. Para tal, Ashby definiu a homeostase como:

- (1) Cada mecanismo é 'adaptado' ao seu fim.
- (2) O seu fim é a manutenção dos valores de algumas variáveis essenciais dentro dos limites fisiológicos.

(3) Quase todo o funcionamento fisiológico de um animal ocorre por conta desses mecanismos³² (ASHBY, 1960, p. 58, tradução nossa).

Ashby entende o organismo como uma sucessão de mecanismos, em que a descrição cíclica define que estes se ‘adaptam’ em função das variáveis que, por sua vez são influenciados pela ação desses procedimentos.

A ‘adaptação’ de um organismo, frente aos distúrbios que o acometem no ambiente, é alcançada através da homeostase. Um exemplo dado por Ashby é o contato de um gato com o fogo. Em um dia convencional, o gato apenas se afastaria do fogo, mas dadas as condições climáticas de frio, o gato irá se afastar e aproximar do fogo para que o seu corpo mantenha uma temperatura ideal, apresentando assim um comportamento em busca da homeostase interna do animal (ASHBY, 1960, p. 62).

As mesmas condições acontecem com o ser humano em um ambiente urbano, por exemplo, a casa em que reside influencia as condições das variáveis do homem, seja o controle da temperatura através de uma cobertura e paredes adequadas, a relação de iluminação do ambiente através das janelas de vidro, entre outras partes funcionais de uma habitação influenciam a homeostase do homem (ASHBY, 1960, p. 62).

A figura 6, a seguir, representa as condições de adaptação de um organismo através da homeostase do sistema frente a um distúrbio do ambiente. Essa adaptação que ocorre dentro de um organismo e a tendência a atingir a ultra estabilidade representam o comportamento de um equilíbrio dinâmico.

³²Do original: “(1) Each mechanism is ‘adapted ’ to its end. (2) Its end is the maintenance of the values of some essential variables within physiological limits. (3) Almost all the behavior of an animal's vegetative system is due to such mechanisms” (ASHBY, 1960, p. 58).

Figura 6 – Processo de homeostase

Legenda - Processo de estabilização de um organismo frente aos distúrbios do ambiente que se relacionam com o mesmo.

Fonte: DI STASI, M. G. PRATSCHKE, A., 2020.

Com essa imagem é possível observar que um organismo se adapta aos diversos distúrbios num ciclo que ocorre o tempo todo, e se manifesta desde o microcosmo até o macrocosmo.

O HOMEOSTATO

Neste subcapítulo, após o detalhamento de alguns conceitos chave das teorias complementares de Ashby, será apresentado o dispositivo eletrônico que o mesmo desenvolveu para testar a ciência das máquinas ideais por meios práticos. Ele tinha por objetivo demonstrar o funcionamento da adaptação por meio da homeostase e, para tanto, construiu sua principal máquina, chamado Homeostato,

que aclarava o conceito de estabilidade e ampliava o de ultra estabilidade (ASHBY, 1946 apud PICKERING, 2010. p. 101).

Ashby propôs um dispositivo capaz de realizar adaptações ao longo do seu circuito, que, para a época de 1940, representava uma mudança nos paradigmas computacionais e tecnológicos. Para aclarar o modo como o modelo atuava, a seguir será descrita sua estrutura e funcionamento.

De acordo com o Dicionário Web da Cibernética e sistemas da Web Principia Cybernetica, o Homeostato foi definido como:

Uma máquina construída em 1940 por W. Ross Ashby para demonstrar o comportamento de um sistema ultra estável. Responde a desvios de certos valores essenciais de uma variável contínua, provocados por um experimentador no ambiente da máquina com alterações estruturais em etapas, e que vem a descansar apenas quando um comportamento que mantém os valores dessa variável crítica dentro de limites desejáveis há sido encontrado. Os valores essenciais, talvez interpretados como um estado homeostático, objetivo ou ideal e as mudanças estruturais são adaptativos em relação a esses valores³³ (KRIPPENDORFF, 1986, tradução nossa).

O Homeostato era configurado com ajustes que refletiam os limites das variáveis essenciais e o controle para atingir a ultra estabilidade era realizado através de ciclos que buscavam a adaptação a partir dos desequilíbrios do sistema.

A máquina era composta por quatro unidades homeostáticas iguais, conectadas eletricamente entre si, formando uma corrente com entrada e saída elétrica em cada uma, como mostra a Figura 7. Cada unidade recebia na entrada a eletricidade da saída da unidade anterior, e convertia essa entrada em outra saída elétrica, e assim por diante (PICKERING, 2010, p. 101).

³³Do original: "A machine built in the 1940's by W. Ross Ashby to demonstrate the behavior of an ultrastable system. It responds to deviations from certain essential values of a continuous variable caused by an experimenter in the environment of the machine with stepwise structural changes, and it comes to rest only when a behavior has been found that keeps the values of that critical variable within desirable limits. The essential values maybe interpreted as a homeostatic state, goal or ideal and the structural changes are adaptive relative to these values" (KRIPPENDORFF, 1986).

Figura 7 – O Homeostato

Legenda – À esquerda: o Homeostato composto por quatro dispositivos eletrônicos, e à esquerda a aproximação do mecanismo de ajuste.

Fonte: PICKERING, 2010, p. 103.

Uma simples unidade não tinha capacidade de comprovar as propriedades de adaptação, no entanto, a partir de duas unidades interconectadas, estas desenvolveram a homeostase com as entradas e saídas existentes no circuito, formando uma retroalimentação infinita (PICKERING, 2010, p. 104). Para verificar esse processo, Ashby configurou o primeiro homeostato do circuito com propriedades variáveis, e os demais homeostatos com propriedades fixas, criando duas circunstâncias: a primeira em que o primeiro homeostato se encontrava em equilíbrio e este se manteve estável e inerte; a segunda em que o primeiro homeostato se encontrava instável, gerando uma saída elétrica que influenciava as variáveis dos demais homeostatos, até que a máquina conseguisse atingir um equilíbrio por meio das relações dinâmicas de adaptação das variáveis essenciais de cada homeostato (PICKERING, 2010, p. 104). Foi com esta máquina que Ashby conseguiu demonstrar, em seus estudos de 20 anos sobre a adaptação do cérebro humano (PICKERING, 2010, p. 105), que havia uma busca interna por equilíbrio dinâmico frente ao ambiente (PICKERING, 2010, p. 106).

A figura 8, a seguir, demonstra a relação das entradas e saídas elétricas da máquina e a retroalimentação total do sistema que garante a adaptação da mesma. Para Ashby, o primeiro homeostato pode ser considerado como um cérebro modelo, e os demais homeostatos representam o mundo com o qual ele se relaciona, dessa forma, o primeiro perturba dinamicamente o seu mundo que processa as informações estabelecendo ciclos de retroalimentação (PICKERING, 2010, p. 106).

Figura 8 – Funcionamento do homeostato

Legenda - Funcionamento de um homeostato e a relação de entrada e saída de eletricidade na formação de um sistema adaptativo.

Fonte: DI STASI, M. G. PRATSCHKE, A., 2020.

A ultra estabilidade do sistema é conseguida por meio da homeostase e da adaptação que cada homeostato alcança no controle do seu ciclo. Dessa forma, o sistema inteiro reage mediante as alterações das partes que o compõem em uma relação de interdependência entre eles, através das entradas e saídas de impulsos elétricos. Ou seja, a “[...] adaptação no homeostato levou à *seleção* de um estado apropriado através de um processo de tentativa e erro dentro de um espaço combinatório de possibilidades”³⁴ (PICKERING, 2010, p. 110, tradução nossa).

O Homeostato teve uma grande importância nos estudos da Cibernética, pois representou uma nova forma de pensar o mundo como vivo e responsivo (PICKERING, 2010. p. 106), no qual era possível explorar os processos de tentativa e erro evidenciados por Ashby (PICKERING, 2010, p. 107).

O valor do Homeostato não era o fato de ser uma máquina, pois não tinha o objetivo de fazer algo, mas tinha o seu próprio propósito, de buscar o equilíbrio

³⁴Do original: “[...] adaptation in the homeostat amounted to the *selection* of an appropriate state by a process of trial and error within a combinatoric space of possibilities” (PICKERING, 2010, p. 110).

através das tentativas e erros (ASARO, 2008) que geravam dois tipos de respostas: respostas imediatas ou, uma compilação de dados que promoviam adaptação por meio de homeostase. Essa distinção mostrava claramente que o objetivo de Ashby não era apenas a produção de máquinas que podiam realizar uma tarefa, mas o processo para se chegar a uma resposta mais adequada em função do ambiente onde se encontrava. Isso foi fundamental para o avanço computacional e, consequentemente, para a automação arquitetônica. Para Ashby, as simulações do Homeostato representaram um estudo fundado em inteligência, gerando recursos para dar andamento a novas etapas. Seu trabalho prático foi apenas a demonstração da vasta teoria que desenvolveu, em uma época em que adaptação e equilíbrio estavam começando a ser compreendidos (ASARO, 2008).

É discutida por Ashby a possibilidade de o cérebro ser composto por uma vasta quantidade de unidades ultra estáveis, consideradas como homeostatos biológicos. Nesse caso, a pergunta que afligiu Ashby foi, qual seria o tempo necessário para um cérebro, organizado dessa forma, processar as informações e entrar em equilíbrio com o ambiente (PICKERING, 2010, p. 119). Em seus cálculos, ele demonstra que um cérebro com 1.000 unidades homeostáticas, processando as variações totalmente interconectadas (Figura 9a), levaria um tempo de 2^{1000} segundos para alcançar a ultra estabilidade da máquina (PICKERING, 2010, p. 120). Esse tempo seria absurdamente grande, aproximando-se de 10^{293} anos para processar as atividades de um cérebro, portanto, Ashby começa a desenvolver novas teorias a respeito disso (ASHBY, 1960, p. 152). Se as atividades fossem processadas interligadas, mas com a adaptação das unidades sequencialmente (Figura 9b), esse tempo se reduziria a 8 minutos, e se as unidades processassem as atividades independentes uma das outras (Figura 9c), o tempo seria de alguns segundos (ASHBY, 1960, p. 152). A seguir encontram-se algumas ilustrações para demonstrar as configurações em relação ao tempo de processamento:

Figura 9 – Processos homeostáticos

Legenda – Da esquerda para a direita: processo interdependente entre os homeostatos (a), processo sequencial entre eles (b) e, processo independente (c).

Fonte: DI STASI, M. G. PRATSCHKE, A., 2020.

Essa alteração na forma de processar as variáveis promove uma alteração bastante drástica no tempo, mas para Ashby isso não representava essencialmente um cérebro, posto que para ele o cérebro não possuísse subsistemas autônomos que se adaptavam apenas a uma característica externa. Já haviam observado que a rede de neurônios era densamente interconectada (PICKERING, 2010, p. 120). No entanto, Ashby também afirmava que nem todas as variáveis estão fortemente conectadas entre si, e a adaptação em sequência, observada como tempo de processamento de 8 minutos, seria um ponto inicial para uma nova estratégia, que mais tarde se apresentou como outra máquina chamada DAMS (*Dispersive and Multistable System*) (PICKERING, 2010, p. 121), sobre a qual não iremos entrar em detalhes neste trabalho.

O Homeostato de Ashby foi um exemplo de computador analógico, que tinha por objetivo processar informações em busca de adaptação, demonstrando capacidades inteligentes (ASARO, 2008). Essas questões modificaram a forma de pensar sobre a inteligência, aprimorando o desenvolvimento de outras máquinas mais avançadas qualificadas para evoluir o processamento de dados.

Embora a busca por revelar a caixa preta do cérebro e o processo de adaptação do mesmo tenha sido explorada por Ashby, ele notou também que a única maneira de descobrir a solução seria simular e aguardar os resultados. Ele também verificou que, conforme aumentava a complexidade da organização, com

múltiplos homeostatos, as máquinas se tornavam pequenas caixas pretas, podendo ser comparadas com o material do qual o mundo se constrói (PICKERING, 2010, p. 155).

Outros ciberneticistas e profissionais de diversas áreas se apoiaram em suas propostas, e a sua ciência baseada em máquinas ideais adaptativas foi importante para entender o funcionamento das interdependências das partes que compõem essa complexa rede interconectada que forma o mundo.

1.2. A MÁQUINA ADAPTATIVA SOB O PONTO DE VISTA ECOSISTÊMICO

Neste subcapítulo serão tratados conceitos e modelos referentes à adaptação e homeostase do ponto de vista ecossistêmico visando a constatar a correlação da Biologia com a Cibernética por meio da quebra de paradigmas ocorrida na década de 1970 e do surgimento de um pensamento comum no planeta como um todo na mesma época.

As ciências naturais e os estudos sobre os campos ecossistêmicos sempre existiram como parte dos interesses do homem, no entanto, antes de 1970 a disciplina Ecologia de Ecossistemas era apenas uma área da Biologia e não um domínio próprio. Segundo Eugene Odum e Gary Barret, entre 1968 e 1970, com as primeiras fotos do planeta Terra (Figura 10), a humanidade começou a se preocupar com a fragilidade do mesmo e a crise de petróleo, nesta mesma época, contribuiu para que essa disciplina tivesse mais foco (ODUM e BARRET, 2008, p. 4). Mesmo que a Ecologia ainda faça parte da Biologia, ela possui outra forma de compor os estudos, “[...] ligando os processos físicos e biológicos, formando uma ponte entre ciências naturais e sociais” (ODUM e BARRET, 2008, p. 4). Dessa forma, a Ecologia é relevante para entender a relação entre organismo e meio ambiente, suas adaptações em função dos estímulos, nos permitindo compreender melhor o ambiente do qual fazemos parte.

Figura 10 - Imagem do planeta Terra pela Apollo 17

Fonte: ODUM e BARRET, 2008. p. 3.

A palavra ecologia provém do grego *oikos* (casa) e *logos* (estudo), sendo que “[...] o estudo da casa ambiental inclui todos os organismos dentro dela e todos os processos funcionais que tornam a casa habitável” (ODUM e BARRET, 2008, p. 2). A palavra ecossistema surge após a Teoria Geral de Sistemas de Ludwig von Bertalanffy³⁵, que define a ecologia como um sistema.

Uma crise de petróleo e desastres diversos de poluição levou à conscientização na década de 1970, sobre a necessidade coordenada, em nível mundial, da revisão de práticas econômicas e de exploração de recursos naturais. Tanto a Ecologia, quanto a Cibernética, buscavam, através de teorias comuns, formas de encontrar uma constância. A área da Cibernética já havia se interligado com a Ecologia durante a primeira fase (1940-1960), pois James Ephraim Lovelock³⁶ já utilizava os conceitos cibernéticos como exemplo para seu próprio entendimento sobre as questões de homeostase quando a definiu como um piloto automático de navio:

[...] se grandes tempestades ou rochas aparecem à frente, o navio poderá precisar desviar-se para um curso diferente. Quando isso é ajustado, o piloto automático rapidamente muda o sentido de movimento do navio para um novo movimento estável, e a homeostase é retomada (LOVELOCK, 2006, p. 141).

³⁵Ludwig von Bertalanffy (1901-1972): Nascido em Viena, na Áustria, estudou os organismos e publicou o livro sobre Teoria Geral de Sistemas na década de 1960, que revolucionou a forma de pensar, dando abertura para a evolução das teorias que emergiram antes deste período, inclusive a Cibernética. A Cibernética de Segunda Ordem (1960-1990) surge através de novas propostas de comunicação, na qual o observador é incluído no processo.

³⁶ James Ephraim Lovelock (1919-): Nascido na Inglaterra, ele estudou medicina, pesquisador e inventor de vários equipamentos da NASA, ambientalista, passou parte de sua vida estudando e escrevendo livros sobre o entendimento da terra como um superorganismo e as condições de adaptações e relações de um ecossistema.

Essa descrição de Lovelock para explicar a homeostase é encontrada em definições de 1970, no qual o ciberneticista Anthony Stafford Beer³⁷ retrata o significado da palavra grega *Kubernetes* (governador), essa palavra já era usada para definir a Cibernética por Norbert Wiener³⁸ em 1942:

No mar, os longos navios lutaram com chuva, vento e marés - assuntos de nenhum modo previsíveis. No entanto, se o homem que manobra o leme mantivesse seus olhos em um farol distante, ele poderia manipular o timão, ajustando-o continuamente, em tempo real, em direção à luz. Esta é a função do timoneiro. Desde os tempos de Homero, a palavra grega para timoneiro era *kubernetes*, que translitera para Inglês como *cybernetes*³⁹ (BEER, 2002, p. 213, tradução nossa).

Lovelock entendeu a homeostase como um processo de adaptação ao longo das intempéries do caminho, ou seja, a capacidade de um navio, com o seu timoneiro, de conseguir atingir o equilíbrio sempre que houver empecilhos. Se transmitirmos esse conceito para um ecossistema, este pode sofrer distúrbios em decorrência de alterações na configuração natural do habitat ou inserção de outras espécies em um ambiente ao qual deverá se adequar até que todo o meio atinja um novo estado de equilíbrio.

Para entender melhor um ecossistema e seu funcionamento, Odum e Barret o definem, em seu livro *Fundamentos de Ecologia* (ODUM e BARRET, 2008, p. 632), como:

Um sistema ecológico ou ecossistema é qualquer unidade que inclui todos os organismos (a comunidade biótica) em uma dada área interagindo com o ambiente físico de modo que um fluxo de energia leve a estruturas bióticas claramente definidas e à ciclagem de

³⁷ Anthony Stafford Beer (1926-2002): Nascido na Inglaterra, ele estudou filosofia, mas teve de interromper para incorporar o exército britânico na Segunda Guerra Mundial, foi contratado pelo governo do Chile em 1972 para desenvolver um sistema computadorizado em tempo real para gerir a economia social, mas abandonou o projeto em 1973. Faz parte da Cibernética de Segunda Ordem (1960-1990).

³⁸ Norbert Wiener (1894-1964): Nascido nos Estados Unidos, graduado em matemática aos 14 anos, aos 18 obteve o doutorado em lógica, trabalhou no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) com movimento de partículas, trabalhou na Segunda Guerra Mundial com problemas matemáticos e é considerado o pai fundador da Cibernética.

³⁹ Do original: "At sea, the long ships battled with rain, wind and tides — matters in no way predictable. However, if the man operating the rudder kept his eye on a distant lighthouse, he could manipulate the tiller, adjusting continuously in real-time towards the light. This is the function of steersmanship. As far back as Homer, the Greek word for steersman was *kubernetes*, which transliterates into English as *cybernetes*" (BEER, 2002, p. 213).

materiais entre componentes vivos e não vivos. [...] É uma unidade de sistema funcional, com entradas e saídas, e fronteiras que podem ser tanto naturais como arbitrárias (ODUM e BARRET, 2008, p. 18).

Ou seja, um ecossistema é uma unidade funcionalmente aberta, que possui entrada e saída tanto de energia, como de matéria (ODUM e BARRET, 2008, p. 18), como demonstra a imagem a seguir, Figura 11.

Figura 11 – Modelo de ecossistema

Legenda - Modelo de Ecossistema com entrada e saída de energia e matéria.
Fonte: Odum e Barret, 2008, p. 18, imagem redesenhada pela autora.

A partir desse modelo, é possível definir o panorama geral de um ecossistema completo, através da relação: $\text{ECOSSISTEMA} = \text{AMBIENTE DE ENTRADA} + \text{SISTEMA} + \text{AMBIENTE DE SAÍDA}$ (ODUM e BARRET, 2008, p. 21). Considerando essas premissas, as entradas possíveis em um ecossistema caracterizam-se pela luz solar, e elementos provenientes de matéria orgânica. Com a luz solar, somado à absorção dos elementos, as plantas realizam fotossíntese, processo chamado de interação, produzindo assim energia consumível, ou seja, glicose. Essa glicose perpassa o sistema de forma linear, enquanto que a matéria perpassa de forma cíclica. As saídas possíveis do sistema podem ser consideradas como a perda de energia através de calor, ou trabalho, a qual se dissipa, e matéria orgânica que pode sair e circular por outros sistemas. Essa relação demonstra uma configuração simples de ecossistema, considerando o sistema como uma caixa-preta, sem especificar o conteúdo interno. Ao se desvendar mais essa caixa preta, é possível ver a interação de três elementos básicos, sendo eles a comunidade biótica (ou

simplesmente, a biota), o fluxo de energia e a ciclagem de matéria (ODUM e BARRET, 2008, p. 20).

Na maior parte dos sistemas ecológicos, a energia proveniente do Sol é o que o mantém em funcionamento e quando há qualquer distúrbio, o ecossistema inteiro tende a desequilibrar e se adaptar às novas condições para atingir novamente o equilíbrio.

O fluxo de energia que entra em um ecossistema é linear e unidirecional, enquanto o fluxo de matéria é cíclico, logo, a matéria entra, passa por transformações e depois pode retornar ao mesmo sistema ou fazer parte de outro.

Com isso, podemos ver que a estabilidade de um ecossistema é dependente de sua capacidade de se adaptar às diversas ocorrências que interferem no seu equilíbrio. A homeostase, desenvolvida pelo ciberneticista Ross Ashby, serve como modelo para os ecólogos, representando essa condição de adaptação.

James Lovelock, em seu livro ‘Gaia – Cura para um Planeta Doente’ (LOVELOCK, 2006, p. 192), começa a adentrar nos assuntos sobre o equilíbrio do planeta. O autor descreveu, já na década de 1970, que, a homeostase é a ‘sabedoria do corpo’, pois permite que ele mantenha o estado constante dinâmico. Um organismo vivo pode evitar o colapso e mudar para um novo estágio de constância e começar com outro ponto de virada, sem falhar a partir da ocorrência de um distúrbio (LOVELOCK, 2006, p. 141).

Concomitante aos pensamentos de Lovelock, os biólogos e ciberneticistas Maturana e Varela também definiram a condição de homeostase por meio do conceito de Autopoiesis, equivalente às propostas de Lovelock:

As máquinas autopoieticas são máquinas homeostáticas. Mas a sua peculiaridade não reside nisto senão na variável fundamental que a mantém constante. Uma máquina autopoietica é uma máquina organizada como um sistema de processos de produção de componentes concatenados de tal maneira que produzem componentes que: i) geram os processos (relações) de produção que os produzem através de suas contínuas interações e transformações; e ii) constituem à máquina como uma unidade no espaço físico. Por conseguinte, uma máquina autopoietica continuamente especifica e produz sua própria organização através da produção de seus próprios componentes, sob condições de contínuas perturbações e compensações dessas perturbações (produção de componentes). Podemos dizer então que uma máquina autopoietica é um sistema homeostático que tem a sua própria organização como

a variável que se mantém constante⁴⁰ (MATURANA e VARELA, 2003, p. 69, tradução nossa).

A autopoiesis foi definida como um sistema com sua própria organização que se mantém constante sob perturbações, apresentando-se homeostática. Sua organização interna permite a geração de inter-relações internas, bem como a configuram em uma unidade. Os estudos dos biólogos foram de encontro ao entendimento dos processos que ocorrem dentro das células e os processos internos da mesma. Partindo para o entendimento do microcosmo.

As equivalências de funções, seja em um microcosmo, como um organismo humano, ou em um macrocosmo, como a Terra (Gaia), são abordadas como equivalentes, pois apresentam o mesmo conceito de adaptação. Enquanto para Ashby, nos anos 1940 e 1950, a escala de microcosmo estava na relação do organismo com o seu meio externo, incluindo as adaptações realizadas internamente, para Lovelock, nos 1970, a Terra (Gaia), representava um super organismo capaz de superar os distúrbios tendo sobrevivido a 3,8 bilhões de anos, com inúmeros desafios e mudanças. Para Lovelock, a Terra é um organismo homeostático com capacidade de auto cura e de auto regulação (LOVELOCK, 2006, p. 140).

Dessa forma, quando falamos da adaptação e homeostase de Ashby, estamos olhando para um ponto em pequena escala, no qual o organismo se relaciona com o ambiente imediato, podendo ser calor, frio, fome, esforço, entre outros. Quando falamos sobre as propostas de Lovelock, falamos de uma escala maior, em que comunidades de plantas, animais e seres humanos se relacionam entre si, com outros ecossistemas e com o meio ambiente e o meio urbano, formando um planeta composto por uma rede interconectada que se adapta ao tempo.

⁴⁰ Do original: “Las máquinas autopoieticas son máquinas homeostáticas. Pero su peculiaridad no reside em esto sino em la variable fundamental que mantiene constante. Una máquina autopoietica es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que: i) generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y ii) constituyen a la máquina como una unidad en el espacio físico. Por consiguiente, una máquina autopoietica continuamente especifica y produce su propia organización a través de la producción de sus propios componentes, bajo condiciones de continua perturbación y compensación de esas perturbaciones (producción de componentes). Podemos decir entonces que una máquina autopoietica es un sistema homeostático que tiene a su propia organización como la variable que mantiene constante” (MATURANA e VARELA, 2003, p. 69).

No sentido de se compreender a configuração dos processos que fazem parte de um ecossistema, a seguir há uma explanação a respeito do fluxo de energia e ciclagem de matéria que o configuram.

Para entender o fluxo de energia e o processo que ocorre nos ecossistemas, é necessário entender as duas primeiras leis da termodinâmica. A primeira lei da termodinâmica determina que, ao receber energia solar, a planta a transforma em alimento (glicose) e calor (ODUM e BARRET, 2008, p. 78).

A segunda lei da termodinâmica refere-se à entropia⁴¹ de um ecossistema, no qual a energia que entra é transformada em outro tipo de energia (ODUM e BARRET, 2008, p. 78). Na transformação sempre se perde parte da energia, resultando em uma ineficiência do processo:

[...] nenhuma transformação espontânea de energia (como a luz solar, por exemplo) em energia potencial (protoplasma, por exemplo) é 100% eficiente, porque alguma parte da energia sempre será dispersada sob a forma de energia térmica não disponível (ODUM e BARRET, 2008, p. 78).

Desta forma, a luz solar que chega às plantas é transformada em glicose por meio da fotossíntese e esse trabalho gera calor que é dissipado no ambiente.

$$\Delta E = \Delta T + \Delta C \text{ (ODUM e BARRET, 2008, p. 79).}$$

A quantidade de energia que entra em um ecossistema é a energia gasta na realização de trabalho, ou seja, transformada, somada à energia liberada em forma de calor.

Conforme a energia passa pela cadeia alimentar⁴², menos energia potencial é gerada e mais calor é dissipado para o ambiente. Essa identificação classifica o fluxo de energia como unidirecional, passando de consumidor em consumidor até que a energia se perca ao final, conforme é visto na Figura 12. Portanto, um ecossistema eficiente é aquele em que há menos perda de calor e mais transformação de energia potencial.

⁴¹ Entropia: *en*=em e *trope*=transformação. Portanto, entropia = em transformação.

⁴² Cadeia alimentar: um exemplo de estrutura de teias pode ser: plantas > coelhos > raposa.

Figura 12 – Fluxo de energia no ecossistema

Legenda – Processo do fluxo de energia em uma cadeia alimentar em função da quantidade de energia potencial e calor.

Fonte: ODUM e BARRET, 2008. p. 123. Imagem redesenhada pela autora.

À medida que a energia passa pelos diferentes organismos, a quantidade de glicose absorvida é menor (seta unidirecional com $10^6 > 10^4 > 10^3 > 10^2 > 10$), e a emissão de calor é maior ($1 > 10^2 > 10^3 > 10^4 > 10^5$).

Já a ciclagem de matéria, diferente do fluxo de energia, não é unidirecional, circulando por vários componentes de um mesmo ecossistema, ou até entre distintos ecossistemas. A matéria inclui os elementos químicos como carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, enxofre entre outros (ODUM e BARRET, 2008, p. 141).

Com a energia entrando em um ecossistema, esta dá a base de transformações ao longo do processo. Para gerar a glicose ($C_6H_{12}O_6$), energia potencialmente disponível a outros seres vivos, a planta combina os elementos químicos (C, H, O) por meio do trabalho, como visto na figura 13, e estes circulam pela cadeia alimentar e podem fazer parte do ecossistema novamente quando o organismo se decompuser (ODUM e BARRET, 2008, p. 51). Os elementos se combinam e se separam constantemente, sem deixar de existir em nenhum momento, tal como a energia. Estão presentes tanto nos organismos como nos meios abióticos (ar, terra, água) (ODUM e BARRET, 2008, p. 141).

Figura 13 – Processo de fotossíntese

Legenda – As matérias (ou nutrientes) encontram-se no meio ambiente e por meio de energia produzem glicose.

Fonte: Imagem gerada pela autora.

A energia que é absorvida pelas plantas é usada para o trabalho de transformação do CO₂ do ar e H₂O em glicose e oxigênio. Enquanto a energia é transformada e dissipada, os nutrientes são fixados nos organismos, ciclicamente ao longo da vida deles, em uma constante comunicação química (ODUM e BARRET, 2008, p. 51).

Levando em consideração o entendimento de adaptação e homeostase, seja em um organismo, como Ashby distinguiu, ou como um super organismo (Terra), como o fez Lovelock, percebemos a importância da configuração de um ecossistema e as formas que este possui de tornar o sistema estável. As entradas em um ecossistema, seja luz ou matéria, saem como calor e matéria, mas é no processo de coordenação dessas entradas, e mesmo distúrbios ao sistema, e a forma como as informações são estruturadas e associadas para garantir essa estabilidade, que reside nossa preocupação.

Considerando essas investigações a respeito dos ecossistemas, podemos associá-las ao processo arquitetônico em outro âmbito, promovendo a automação arquitetônica por meios adaptativos através do resgate de processos biológicos. Dessa forma, o capítulo a seguir relaciona a Arquitetura através dos ecossistemas.

CAPÍTULO 2 - A ARQUITETURA COMO MÁQUINA IDEAL

IMAGEM: M. C. ESCHER - OUROBORUS

INTRODUÇÃO

Neste subcapítulo relacionamos as questões adaptativas da ciência de máquinas ideais com o desenvolvimento de projetos arquitetônicos que tenham como premissas a automação e características responsivas. Foram escolhidas duas intenções projetuais que refletem as alegações anteriores, de maneira que foram analisadas as peculiaridades de seus planejamentos para atender o bem estar do homem, dentro dos seus limites fisiológicos. Dentre os projetos, foram exploradas as evoluções dos projetos Dymaxion (de 1927 a 1948), também chamados de máquinas de habitar, do arquiteto Richard Buckminster Fuller⁴³, e o projeto BedZED⁴⁴ (2002), de autoria inicial de Bill Dunster Architects, realizada através do envolvimento de várias equipes especialistas como Ove Arup & Partners.

2.1. AUTOMAÇÃO EM FUNÇÃO DA ADAPTAÇÃO

O processo de arquitetura vem se modificando junto com o desenvolvimento da Cibernética. É possível observar através do trabalho de alguns arquitetos a importância dos avanços cibernéticos na organização do projeto arquitetônico. O próprio Ashby relacionou, em seu livro *Design for a brain*, o edifício como um adaptador das condições do homem em função da influência exercida pela construção no organismo:

A primeira necessidade de um homem civilizado é uma casa; e seu primeiro efeito é manter o ar no qual ele vive a uma temperatura mais uniforme. O teto mantém sua pele em uma constante seca. As janelas, se abertas no verão e fechadas no inverno, ajudam na manutenção de uma temperatura uniforme, assim como o fogo e

⁴³ Richard Buckminster Fuller (1895-1983): Nascido nos Estados Unidos, ele estudou arquitetura, mas pode ser considerado um inventor visionário. Fez serviço militar no período da Primeira Guerra Mundial, em 1932 teve um momento de introspecção que mudou sua forma de enxergar a vida e começa a propor novas formas de viver através do uso de tecnologias inovadoras. Faz parte do período anterior à Cibernética de Primeira Ordem (1940-1960) e Segunda Ordem (1960-1990).

⁴⁴ BedZED: Beddington Zero Energy Development. Beddington é um bairro em uma área mais afastada do centro de Londres e a empresa Zero Energy Development foi a empresa que desenvolveu este empreendimento com zero emissão de gases de efeito estufa e gerando energia para suprir o empreendimento.

fogões. O vidro na janela mantém a iluminação dos cômodos mais próxima do ótimo, e a iluminação artificial tem o mesmo efeito. As chaminés mantêm a quantidade de fumaça irritante dentro dos cômodos perto do ótimo, que é zero⁴⁵ (ASHBY, 1960, p. 62, tradução nossa).

A seguir, apresenta-se um esquema dos estímulos externos que podem afetar um ambiente construído, visto na figura 14, exercendo mudanças sobre as variáveis essenciais do organismo, e as possíveis alterações que uma habitação pode fornecer para a adaptação às condições naturais.

Figura 14 – A arquitetura e a Homeostase

Legenda - A relação do homem com o ambiente e as condições de adaptação do organismo frente os limites fisiológicos do mesmo.

Fonte: Imagem gerada pela autora.

Com essa imagem, é possível observar que as condições abióticas (meio ambiente, como por exemplo, as condições climáticas) afetam diretamente um organismo. Um abrigo pode oferecer resistência às intempéries, mas uma arquitetura pode automatizar a construção como meio adaptativo para que as

⁴⁵ Do original: "The first requirement of a civilised man is a house; and its first effect is to keep the air in which he lives at a more equable temperature. The roof keeps his skin at a more constant dryness. The windows, if open in summer and closed in winter, assist in the maintenance of an even temperature, and so do fires and stoves. The glass in the windows keeps the illumination of the rooms nearer the optimum, and the artificial lighting has the same effect. The chimneys keep the amount of irritating smoke in the rooms near the optimum, which is zero" (ASHBY, 1960, p. 62).

variáveis essenciais do homem não passem de seus limites fisiológicos, gerando, no caso, uma homeostase dos mecanismos envolvidos na edificação e não do organismo.

Os exemplos de obras escolhidos consideram essas questões essenciais para tornar o edifício autossuficiente e autorregulado: uma **máquina ideal** de viver deve respeitar e considerar as demandas ambientais, seja para prover sua própria energia, sem danificar o ambiente, seja respeitando as condições de adaptação em função de cada local em que a obra se insere; deve ser **socialmente inclusiva** e acessível a todas as pessoas, mesmo em estado de emergência e, deve ser **econômica e ecológica**, reciclando e reutilizando materiais.

O desafio projetual, tendo a ciência das máquinas ideais como norteador de decisões, deverá ser adotado na automação em tecnologias avançadas e na homeostasia do edifício através de auto-organização e autossuficiência, dentre outros conceitos. Em seguida serão analisadas as obras selecionadas para identificar os princípios metodológicos de Ashby.

2.2. MÁQUINA DE HABITAR: CONCEITO DYMAXION

Richard Buckminster Fuller⁴⁶ buscou e desenvolveu suas teorias em um período anterior e durante a Cibernética de Primeira Ordem, previamente à formulação da ciência das máquinas ideais Ashby. Embora seu pensamento tenha sido precedente e tenha continuado ao longo do avanço das pesquisas de Ashby, neste período houve uma mudança coletiva de pensamento e uma alteração dos paradigmas ditados pela época. Isso ocorreu pelo progresso da industrialização e das tecnologias, e para tanto, julgamos relevante examinar e expor suas obras.

Neste subcapítulo iremos explorar a ciência das máquinas ideais e a proposta de automação em habitações através de seu conceito Dymaxion em quatro modelos desenvolvidos pelo arquiteto. Dentre os modelos investigados estão: a Casa 4D

⁴⁶ Richard Buckminster Fuller (1895-1983): Nascido nos Estados Unidos, ele estudou arquitetura, mas pode ser considerado um inventor visionário. Fez serviço militar no período da Primeira Guerra Mundial, em 1932 teve um momento de introspecção que mudou sua forma de enxergar a vida e começa a propor novas formas de viver através do uso de tecnologias inovadoras. Faz parte do período anterior à Cibernética de Primeira Ordem (1940-1960).

Dymaxion (1927-1931), Dormitório Móvel Dymaxion (1932), Unidade de Destacamento Dymaxion (1940) e a Máquina de Habitar Dymaxion (1944 e 1948) (Ver figura 15). A reflexão sobre os conceitos será importante para entender a evolução conceitual até sua última habitação, a Máquina de Habitar Dymaxion, sendo possível observar cada vez mais a inserção de suas teorias na prática. Esses protótipos nunca foram produzidos em massa, como era a proposta de Fuller, e somente alguns deles foram habitados.

A seguir encontram-se imagens de seus modelos ou habitações habitáveis construídas por Fuller.

Figura 15 – Conceito Dymaxion

Legenda – Da esquerda para a direita: Casa 4D Dymaxion, Dormitório Móvel Dymaxion, Unidade de Destacamento Dymaxion e Máquina de Habitar Dymaxion

Fonte: BALDWIN, 1996, p. 25 e 27, GORDON, 2013 e HENDERSON JR., 2014.

A respeito de seu conceito Dymaxion, Fuller une as sílabas DY (dynamic), MAX (maximum) e ION (tension), que representam para ele a máxima tensão dinâmica em uma estrutura.

Diante das alterações de pensamento deste período, Fuller critica o Estilo Internacional que surge para introduzir a funcionalidade e a ideia de industrialização seguida por Le Corbusier, Mies van der Rohe, entre outros:

Era evidente que a corrente cegueira em questão de projeto no nível dos leigos [...] concedia aos projetistas europeus uma oportunidade [...] para desenvolver seu discernimento prévio das simplicidades mais atraentes das estruturas industriais que inadvertidamente tinham conseguido sua libertação arquitetônica, não através de uma invocação estética consciente, mas através da atitude (inspiração pelo lucro) de pôr de lado as irrelevâncias econômicas [...] Esta descoberta surpreendente, como o projetista europeu sabia muito bem, logo poderia tornar-se universalmente atraente como um modismo, pois eles mesmos não se tinham deixado inspirar por um modismo? O 'Estilo Internacional' trazido aos Estados Unidos pelos inovadores da Bauhaus demonstrou uma inoculação da moda sem necessidade de um conhecimento dos fundamentos científicos da

química e mecânica estrutural (FULLER apud BANHAM, 1979. p. 508).

Dessa forma, se torna clara a influência da industrialização no processo arquitetônico, a qual deveria conduzir uma mudança nas questões arquitetônicas. Foram levadas por alguns como simplesmente estético, e por outros como estrutural, no caso de Fuller. Ele critica o Estilo Internacional que surge e a falta de compreensão dos demais arquitetos a respeito do avanço das tecnologias e oportunidades de alterações mais profundas em uma habitação. A máquina de habitar virou um conceito difundido no meio, mas sem enaltecer a necessidade de se estudar outras disciplinas para incorporar devidamente as possibilidades da industrialização e inovações.

Mais à frente ele fala sobre as características que o Estilo Internacional adotou, a estética elaborada e a falta de coerência frente às questões funcionais de um edifício:

[...] a Bauhaus e o Estilo Internacional empregavam encanamentos padronizados e somente se aventuravam a persuadir os fabricantes a modificar a superfície das válvulas e das torneiras, e a cor, tamanho e tipos de disposição dos ladrilhos. A Bauhaus Internacional jamais passou além da superfície da parede a fim de olhar o encanamento [...] eles jamais levantaram questões sobre o problema global das próprias instalações sanitárias.
[...] em suma, eles somente se preocuparam com os problemas de modificação da superfície dos produtos finais, produtos finais estes que eram sub-funções inerentes de um mundo tecnicamente obsoleto (FULLER apud BANHAM, 1979. p. 509).

Para Fuller, o processo arquitetônico proposto pela Bauhaus e Estilo Internacional nada mais eram que a preocupação estética e formal, um padrão regado seguido de soluções plásticas, frustrando-o em relação às novas oportunidades que os arquitetos tinham em mãos e não utilizavam.

Em resposta a crítica que Fuller faz, referente às propostas modernistas construídas na mesma época do Dymaxion, seu trabalho teve como desafio buscar melhorar as condições do modo de habitar através da realização de um projeto que se assemelhava a uma máquina do processo industrial crescente. Para isso, os

projetos de habitação partiram como premissa de autossuficiência e auto-organização, sendo descrito por Peter Reyner Banham⁴⁷ (1979) como:

A estrutura não deriva da imposição de uma estética perretesca ou elementarista sobre um material que foi levado ao nível de um símbolo para 'a máquina', mas é uma adaptação da metodologia de metais leves empregados na construção aérea da época. [...] Fuller também compartilhava de seu objetivo de harmonizar o meio ambiente com o homem e de explorar todos os benefícios da ciência e tecnologia (BANHAM, 1979, p. 510).

Banham entende as propostas de Fuller como inovadoras, que incluíram as tecnologias mais avançadas para a época, se destacando dos demais arquitetos de Estilo Internacional, porque, como definido por Fuller mesmo, a tecnologia é uma “[...] incontida tendência para uma mudança que se acelera constantemente” (FULLER apud BANHAM, 1979), ou seja, se quisermos refletir a Era da Máquina, devemos sempre acompanhar essa aceleração de inovações tecnológicas.

Fuller se empenhou para representar a Era da Máquina desenvolvendo protótipos que tinham soluções formais diferenciadas. Na época, seus protótipos foram enxergados como futuristas, mas representavam o emprego de tecnologias disponíveis (BANHAM, 1979, p. 511) e o início da automação em habitações. Ele propôs estruturas e fechamentos diferenciados, resfriamento do ar por ventilação, reciclagem de materiais, além do fato de que suas unidades pesavam aproximadamente três toneladas, por serem feitas de alumínio, enquanto uma residência, que James Tennant Baldwin⁴⁸ chamava convencional, pesava aproximadamente 150 toneladas (BALDWIN, 1996, p. 41).

⁴⁷ Peter Reyner Banham (1922-1988): nascido em Norwich, na Inglaterra. Estudou na *Bristol Aeroplane Company*, onde passou o período da Segunda Guerra Mundial, em 1949 entrou para a *Courtauld Institute of Art* onde teve aulas com Anthony Blunt, Sigfried Giedion e Nikolaus Pevsner. Se tornou um crítico da Arquitetura Moderna. Era contemporâneo, e por vezes também companheiro de trabalho, de Cedric Price e do grupo Archigram. Deu aula na *Bartlett School of Architecture, University College London, State University of New York em Buffalo (SUNY)* e na *University of California*, e em Santa Cruz ao final de sua vida.

⁴⁸ James Tennant Baldwin (1933-2018): nascido nos Estados Unidos, Jay Baldwin se formou em desenho industrial e automobilístico na Universidade de Michigan, mas atuou como arquiteto. Em 1951, participou de uma apresentação de Buckminster Fuller que durou 14 horas ininterruptas, inspirando-o a trabalhar com Fuller, e seus ideais. Participou como editor na revista *'Whole Earth Catalog'* com Fuller e na *'New Alchemists'* com o biólogo John Todd. Inventou a geodésica com membrana chama *Pillow Dome* e escreveu livros sobre Buckminster Fuller e o seu trabalho.

DA CASA 4D À MÁQUINA DE HABITAR DYMATION

A seguir serão explorados os quatro protótipos de Fuller, em ordem cronológica de execução, no intuito de se compreender o uso de automação arquitetônica relacionado aos princípios da ciência das máquinas ideais, e de questões levadas em conta pelo arquiteto, como ambientais e econômicas.

O primeiro protótipo analisado foi a **Casa 4D Dymation**, no qual sua primeira versão foi realizada em 1927 e apresentada publicamente em 1929 quando “[...] foi considerado um pouco escandaloso [...], pois demonstrou o controle climático preciso da Casa Dymation”⁴⁹ (BALDWIN, 1996, p. 23, tradução nossa).

Casa 4D Dymation

Este primeiro protótipo foi realizado em 1927.

Dados do projeto:

- Para uma família de 5 pessoas
- Planta hexagonal
- Peso de 3 toneladas
- Aproximadamente 150m² de espaço habitável

-Mastro central como suporte

-Materiais utilizados:

- alumínio, que traz reciclabilidade, sem necessidade de pintura ou manutenção.

-Componentes carregáveis por apenas um homem

-Sistema estrutural de tração por cabos e compressão no mastro central

-Custo de 3.000,00 dólares

-Recursos:

- Eficiência energética
- Auto ventilação
- Regulação automática da temperatura
- Auto limpante
- Fossas sépticas
- Geradores de calor e energia
- Água de poço artesiano
- Piso flutuante de painéis triangulares inflados
- Elevadores triangulares opcionais no mastro central
- Cortinas triangulares
- Painéis de janelas

Figura 16 – Modelo da Casa 4D Dymation

Legenda - À esquerda Fuller com a armação do protótipo da Casa 4D Dymation, e à direita o modelo desmontável.

Fonte: BALDWIN, 1996. p. 15 e 23.

⁴⁹ Do original: “[...] was considered a bit scandalous [...], as she demonstrated the precise climate control of the Dymation House” (BALDWIN, 1996, p. 23).

Fuller levou seu modelo desmontável defendendo-o em várias reuniões o seu novo conceito chamado Dymaxion (Figura 16), com uma planta hexagonal e feita de alumínio. Segundo Baldwin, a escolha de Fuller pelo alumínio como material de suas casas ocorreu pelos seguintes fatos:

[...] alumínio é o segundo elemento mais comum na crosta da Terra. Ele tem um alto custo de energia, mas dura indefinidamente. Não exige manutenção ou pintura. Ele pode ser reciclado. A maioria dos materiais convencionais têm um período de vida tão curto que o uso deles pode ser considerado como obsolescência planejada. Casas antigas existem apenas por manutenção incessante e remodelação ocasional⁵⁰ (BALDWIN, 1996, p. 23, tradução nossa).

A escolha de utilizar o alumínio como principal material das casas de Fuller provém tanto dessas questões a respeito das possibilidades descritas anteriormente, quanto pelo fato de existir refugo desses materiais em fábricas de aeronaves que poderiam ser reaproveitados.

Fuller havia trabalhado para a marinha americana na Primeira Guerra Mundial, onde teve contato com o mundo de fabricação de aeronaves e sabia o valor que as sobras desses materiais poderiam ter, sendo cem por cento recicláveis. Para Fuller a produção industrial em massa deveria ser adotada para a construção de residências (BALDWIN, 1996, p. 18), especialmente no caso da reconstrução emergencial que se fez no pós Segunda Guerra Mundial. A opção para o uso do alumínio significava também, além das características descritas anteriormente, resistência, leveza, força, maleabilidade para soluções formais do projeto do arquiteto, resistência à ferrugem, resfriamento e ventilação adequados e facilidade de transporte.

Esta primeira casa tinha por objetivo ser totalmente independente e capaz de funcionar sem energia ou outros recursos externos. A casa inovou em diversos aspectos, sendo descrita por Baldwin como:

A Casa 4D Dymaxion apresentava um piso principal e um deck de observação/ jardim/ recreação. A casa tinha um controle climático abrangente que distribuía o calor tão uniformemente que a roupa de

⁵⁰ Do original: “[...] aluminum is the second most common element in the Earth’s crust. It has a high energy cost, but it lasts indefinitely. It requires no maintenance or paint. It can be recycled. Most conventional materials have such a short life span that using them could be regarded as planned obsolescence. Old houses exist only because of incessant maintenance and occasional refurbishing” (BALDWIN, 1996, p. 23).

cama não seria necessária. Uma única fonte de luz serviu toda a casa através de um sistema de espelhos e dimmers⁵¹. O sistema de ventilação filtrada e uma máquina de lavar e secar roupa que também estendiam a roupa reduziram o trabalho doméstico ao mínimo. Bucky afirmou que ninguém deveria 'ter dedicar uma jornada de 8 horas diárias à sujeira de ontem'⁵² (BALDWIN, 1996, p. 24, tradução nossa).

A Casa 4D Dymaxion era muito distinta das chamadas fabricadas a mão, como descritas por Baldwin (1996. p. 18), em material e conceito. Fuller propôs uma mudança de estilo de vida, no qual as horas do dia-a-dia deveriam ser usadas de outra forma que não com tarefas domésticas. Para tanto, a casa deveria possuir as tecnologias mais avançadas que permitissem outros hábitos. Progrediu seus ideais e neste protótipo inovou com uma habitação, chamada por ele biblioteca, na qual era um centro de multimídia com equipamentos eletrônicos que poderiam ser empregados para o desenvolvimento da educação das crianças, bem como outro espaço chamado 'torre de comando', que se assemelhava aos centros de controle de guerras, podendo ser aproveitados para locais de negócios (BALDWIN, 1996, p. 24).

A seguir é apresentado o sistema estrutural de Fuller de compressão, dado pelo mastro central, e tração, nos tirantes que envolvem o edifício e se suportam no mastro central. Dessa forma a estrutura se torna leve e elevada do solo, figura 17.

⁵¹ Dimmers são dispositivos capazes de variar a corrente elétrica, agindo como geradores que controlam a intensidade da luz.

⁵² Do original: "The 4D Dymaxion House featured a main floor and an observation/garden/recreation deck. The house had a comprehensive climate control that distributed heat so evenly that bedclothes would not be necessary. A single light source served the entire house through a system of mirrors and dimmers. The filtered ventilation system and a washer-dryer that also put the clothes away reduced housework to a minimum. Bucky asserted that nobody should 'have to put in an 8-hour day devoted to yesterday's dirt'" (BALDWIN, 1996. p. 24).

Figura 17 – Tração e compressão na Casa 4D Dymaxion

Legenda - Desenho esquemático do sistema estrutural da Casa 4D Dymaxion, no qual vermelho representa tração, e verde a compressão

Fonte: Imagem gerada pela autora.

O sistema estrutural de Fuller assemelhava-se a de uma ponte com tirantes. Os tirantes tangenciavam a casa, de uma ponta a outra do mastro central, realizando forças de tração. O mastro central funcionava, não somente como local centralizador de energia e funcionamento dos dispositivos eletrônicos da residência, mas também como força de compressão, suportando a estrutura de maneira elevada do solo.

A planta da residência tinha forma hexagonal, mas a inovação de Fuller vai além, compondo uma planta dinâmica no qual os elementos internos podem ser removidos, realocados e alterados de acordo com as preferências e necessidades dos usuários (Figura 18 e 19). Desta forma, se permitia flexibilidades e poderia se tornar responsiva diante das especificidades de uma família.

Figura 18 - Planta da Casa 4D Dymaxion

Fonte: FRACALLOSSI, 2013.

Figura 19 – Casa 4D Dymaxion

Legenda – Elevação da Casa 4D Dymaxion e planta perspectivada com módulos triangulares no piso, permitindo flexibilidade e adaptações.
Fonte: FRACALOSS, 2013.

A casa possuía uma característica bastante peculiar, era homeostática em dois sentidos: o primeiro, mantinha as condições climáticas internas adequadas e confortáveis aos usuários, e o segundo, de acordo com as necessidades dos usuários, o ambiente recebia um *feedback* dos mesmos e se alterava para atender as premissas de suas variáveis essenciais.

O segundo protótipo que Fuller realizou foi o **Dormitório Móvel Dymaxion**, realizado em 1932 e encomendado pelo governo russo. O projeto foi delineado para ser habitado por trabalhadores, que migraram para cidades em processo de industrialização (BALDWIN, 1996, p. 26). Compunha-se de casas pequenas, pensadas para o duro clima local e com materiais existentes nas proximidades, no caso sendo este a madeira (BALDWIN, 1996, p. 27). Fuller desenvolveu o projeto dessas unidades de forma a serem simples e fáceis de executá-las, no entanto, o projeto nunca foi realizado e as unidades nunca foram produzidas (BALDWIN, 1996, p. 28).

Dormitório Móvel Dymaxion

Realizado em 1932.
Dados do projeto:
-Para trabalhadores de fazendas e fábricas que migravam para novas cidades industrializadas da Rússia
-Planta hexagonal
-Mastro central como suporte
-Materiais utilizados:
-chão de rede de cordas de fibra
-isolamento revestido de grama
-placas de revestimento de serragem comprimida
-paredes vazias operáveis
-revestimento de alumínio para refletir a luz solar e distribuir o aquecimento da claraboia e do queimador do mastro
-Sistema estrutural de tração por cabos e compressão no mastro central

A estrutura era similar a Casa 4D Dymaxion, com o sistema de tirantes tracionados e o mastro central comprimido, suportando a armação (Figura 20). Encontrava-se também afastada do solo, mas o fechamento apresentava certa circularidade, embora a plataforma fosse hexagonal como a Casa 4D Dymaxion.

Figura 20 – Tração e compressão no Dormitório Móvel Dymaxion

Legenda– A marcação em marrom representa tração, e verde a compressão.

Fonte: Imagem gerada pela autora.

Como descrito por Baldwin (1996. p. 27), a casa apresentava simplicidade, composta por materiais locais e adequada ao rigoroso clima para o qual era projetado, visitado até mesmo por Fuller para compreender os limites frente aos distúrbios ambientais que a sua obra deveria superar para manter as casas confortáveis para os moradores:

[...] a maior parte da estrutura era feita de madeira e materiais locais simples. A estrutura do chão era uma rede de fibra de corda, isolada com grama embalada e revestida com placa dura de serragem comprimida. As 'pétalas' basculantes das paredes eram ocas, cobertas por painéis de tecido, como as asas de um avião leve. Suas superfícies aluminizadas distribuíam a luz solar difusa da claraboia e o calor radiante e a luz do queimador de querosene / ar comprimido de chama branca no mastro. O respiradouro do topo do telhado controlava a circulação do ar quando as pétalas eram fechadas⁵³ (BALDWIN, 1996, p. 27, tradução nossa).

⁵³ Do original: "[...] most of the structure was made of wood and simple local materials. Floor netting was fiber rope, insulated with packed grass, and surfaced with compressed sawdust hardboard. The openable wall 'petals' were hollow, fabric-covered panels much like the wings of light aircraft. Their aluminized surfaces distributed diffused sunlight from skylight, and radiant heat and light from the white-flame

A residência apresentou-se como uma unidade simples (Figura 21), mas com capacidade para lidar com as intempéries do local. Fuller intensifica o conforto térmico, e resolve a qualidade do ar com sistema de ventilação de maneira coerente, de forma que, “A forma de baixo arrasto do dormitório reduziu a necessidade de isolamento e reforços pesados e resistentes ao vento” ⁵⁴ (BALDWIN, 1996, p. 28, tradução nossa), no qual é possível observar no topo da edificação, em forma de espiral, como mostra a figura 21. E sua estrutura, mesmo realizada com madeira local, ainda demonstrava leveza e “[...] o edifício poderia ser erguido por seus habitantes [...] em uma hora”⁵⁵ (BALDWIN, 1996, p. 28, tradução nossa).

Figura 21 - Corte e perspectiva do Dormitório Móvel Dymaxion

Legenda – Dormitório Móvel Dymaxion: à esquerda, corte, à direita, elevação.
Fonte: BALDWIN, 1996. p. 27.

Fuller estudou as possibilidades de transformar o dormitório em uma obra que servisse aos propósitos de moradia para trabalhadores, mas nunca deixando de pensar no máximo conforto térmico e qualidade do ar que as suas casas poderiam prover, no entanto, o contexto em que estava inserido não permitia grandes mudanças sociais, como salientados por Baldwin (1996. p. 28):

O Dormitório Móvel Dymaxion era ideal tecnicamente, mas não politicamente: apesar de sua utilidade, simplicidade e uso mínimo de recursos, foi considerado demasiado confortável e de alta tecnologia para pessoas envolvidas na luta pela construção de uma sociedade

kerosene/compressed air burner at the masthead. The ruddled roof-peak vent controlled air circulation when the petals were closed” (BALDWIN, 1996, p. 27).

⁵⁴ Do original: “The low-drag shape of the Dormitory reduced the need for insulation and heavy, wind-resisting bracing” (BALDWIN, 1996, p. 28).

⁵⁵ Do original: “[...] the building could be erected by its inhabitants [...] in an hour” (BALDWIN, 1996, p. 28).

igualitária de trabalhadores. Os soviéticos rejeitaram⁵⁶ (BALDWIN, 1996, p. 28, tradução nossa).

Para Fuller, um espaço com qualidade e conforto deveria ser acessível a todos, no entanto, como os contextos de cada região variavam política e socialmente, essas questões impediram que o projeto fosse de fato executado, permanecendo apenas nas ideias do arquiteto.

Em 1940, Fuller desenvolveu seu terceiro protótipo chamado **Unidade de Destacamento Dymaxion**, o qual possuía características semelhantes à Casa 4D Dymaxion, no entanto, com alterações que a transformavam visualmente distinta de suas primeiras ideias de 1927.

De acordo com Baldwin (1996), essas unidades foram desenvolvidas para utilizar outro sistema construtivo, aproveitando a pré-fabricação de silos que serviam para guardar grãos protegidos de ratos e do clima:

Unidade de Destacamento Dymaxion

Realizado na década de 1940.

Dados do projeto:

-Para uma família.

-Planta circular

-Cada unidade com aproximadamente 28m²

-Unidade 1: sala de estar e 2 quartos

-Unidade 2: cozinha, banheiro e quarto de reposição

-Mastro central como suporte da estrutura

-Materiais utilizados:

-folhas curvas de ferro ondulado galvanizado, utilizado nas construções de aviões

-Montagem e desmontagem fáceis

-Custo de 10,00 dólares/m²

-Recursos:

-Circulação passiva de ar

-Respiradouro no telhado que mantém o ar interno limpo

Os silos de aço galvanizado [...] são vendidos para manter os grãos a salvo de ratos e das condições climáticas. Quando Bucky encontrou os silos pela primeira vez ao longo de uma rodovia do meio oeste em 1940, ele imediatamente os reconheceu como base para uma unidade de habitação de emergência que manteria as pessoas protegidas de ratos e de condições climáticas. Robustos, simples, à prova d'água e à prova de fogo, os silos baratos foram projetados para serem montados de forma rápida e fácil por agricultores não treinados. O melhor de tudo, eles já eram produzidos em massa. Transformar um silo em uma casa habitável não exigiria despesas incrivelmente grandes com os custos de ferramentas, um problema que condenou seu projeto muito mais complexo a Casa Dymaxion⁵⁷ (BALDWIN, 1996, p. 35, tradução nossa).

Essa solução representava para Fuller uma produção com custo baixo e humilde, sem o luxuoso projeto da Casa 4D Dymaxion

⁵⁶ Do original: "The Dymaxion Mobile Dormitory was ideal technically, but not politically: Despite its utility, simplicity, and minimal use of resources, it was considered too comfortable and high-tech for a people involved in the struggle to build an egalitarian worker's society. The soviets rejected" (BALDWIN, 1996, p. 28).

⁵⁷ Do original: "Galvanized steel bins [...] are sold to keep grain safe from rats and weather. When Bucky encountered the bins for the first time along a Midwest highway in 1940, he immediately recognized them as the basis for an emergency housing unit that kept people safe from rats and weather. Sturdy, simple, watertight, and fireproof, the inexpensive bins were designed to be quickly and easily assembled by untrained farmers. Best of all, they were already mass-produced. Transforming a bin into a livable house would not require impossibly large expenditures for tooling costs, a problem that had doomed his much more complex Dymaxion House" (BALDWIN, 1996, p. 35).

da década de 1930, mas uma solução para produção em massa como sempre acreditou ser mais coerente, baixando o custo da produção (BALDWIN, 1996, p. 35).

Com aparência de silos dos campos de cultivo agrícola, a estrutura possuía também o mastro central, no entanto, a unidade encontrava-se totalmente apoiada no solo, com planta circular e não hexagonal como nas anteriores.

Para que sua unidade fosse exequível, o arquiteto conseguiu respaldo da empresa que produzia silos, chamada *Butler Manufacturing Company*, que se interessou pelo projeto e pelas ideias de Fuller (BALDWIN, 1996, p. 38). A partir deste acordo, foram produzidas duas unidades para serem expostas, a primeira no *Hains Point Park* em Washington, e a segunda no Museu de Arte Moderna, em Nova York, o que permitiu que os agentes governamentais pudessem observá-las mais proximamente, frente ao contexto da época, com o início da Segunda Guerra Mundial.

[...] a Segunda Guerra Mundial tinha começado, e havia uma necessidade imediata de alojar equipes de radar em lugares distantes com climas severos. Os abrigos deveriam ser entregues por via aérea e instalados rapidamente - possivelmente por trabalhadores analfabetos. O silo de grãos modificado por Bucky se ajusta perfeitamente à essa necessidade. Os protótipos foram testados e aprovados com sucesso. Eles obtiveram um nome oficial: Unidade de Destacamento Dymaxion (DDU)⁵⁸ (BALDWIN, 1996, p. 38, tradução nossa).

A proposta de Fuller era reproduzir em grande escalas as unidades de maneira que fossem implantadas em todos os lugares para abrigar militares em locais remotos de guerra. A necessidade de construção de campos de ação para esse fim promoveu o êxito desses silos residências, no qual:

Os militares enviaram várias centenas de unidades a áreas do Pacífico e do Golfo Pérsico. Elas funcionaram bem, mas durante uma escassez temporária de aço, a DDU foi resignadas como de baixa prioridade, e a produção cessou⁵⁹ (BALDWIN, 1996, p. 40, tradução nossa).

⁵⁸ Do original: “[...] World War II had started, and there was an immediate need to house radar crews in distant places with severe climates. The shelters would have to be delivered by air and installed quickly – possibly by illiterate workers. Bucky’s modified grain bin fit the job description perfectly. Prototypes were successfully tested and approved. They got an official name: Dymaxion Deployment Units (DDU)” (BALDWIN, 1996, p. 38).

⁵⁹ Do original: “The military successfully deployed several hundred units in the Pacific and the Persian Gulf areas. They worked well, but during a temporary steel shortage, the DDU was redesignated low-priority, and the production ceased” (BALDWIN, 1996, p. 40).

Embora as unidades servissem ao propósito ao qual foram designadas, e tenha tido sucesso pela leveza e facilidade de montagem, a falta de material dificultou que o item pudesse ser reproduzido novamente. Embora essa questão impossibilitasse a execução, Fuller desenvolveu outra DDU para residências emergências do pós-guerra, mesmo dado este impedimento:

[...] desenhos e modelos tinham sido feitos para uma DDU civil mais bonita e estruturalmente eficiente para uso após a guerra. Não era um silo modificado, mas havia sido projetada desde o início para ser um lar. (Em caso de emergência, poderia ser modificada para ser um depósito de grãos - uma inversão interessante da intenção original.) Nenhuma foi construída⁶⁰ (BALDWIN, 1996, p. 40, tradução nossa).

Essa outra configuração foi projetada como abrigos emergenciais para cidades da Inglaterra. O sistema de fabricação seria realizado como uma linha de produção, com ferramentas e fábricas de montagem já existentes, com uma estrutura resistente contra o bombardeio e com telhado curvo, para que os detritos de guerra escorregassem sem danificar a estrutura (FU, MALESZYK e OCHOA, 2017), como pode ser visto na Figura 22. A planta constituía-se em duas unidades acopladas, na qual a primeira unidade maior continha a sala de estar e dois quartos, e a segunda menor, cozinha, banheiro e um quarto de reposição (Figura 23).

Figura 22 - Elevação da Unidade de Destacamento Dymaxion acopladas

Fonte: FU, MALESZYK e OCHOA, 2017.

⁶⁰ Do original: “[...] drawings and models had been done for a prettier and more structurally efficient civilian DDU for use after the war. It was not a modified bin, but was designed from the outset to be a home. (In an emergency, it could be modified to be a grain bin - an interesting reversal of the original intent.) None were built” (BALDWIN, 1996, p. 40).

Figura 23 - Planta da Unidade de Destacamento Dymaxion acopladas

Legenda – Planta das duas unidades acopladas, feitas de aço galvanizado da fabricação em massa de silos agrícolas.

Fonte: FU, MALESZYK e OCHOA, 2017.

Na elevação (Figura 22) é possível observar o início da utilização de domos, que se torna mais presente em sua próxima casa, a Máquina de Habitar Dymaxion. A planta (Figura 23) mostra os dois silos acoplados, formando uma residência simples, em tamanho humilde, porém suficiente para uma família. O sistema estrutural se diferenciava das casas anteriores, embora preservasse ainda o mastro central como o centro dos equipamentos e o suporte da estrutura. No entanto, apresentava uma estrutura mais simples, sem tensão de cabos ou compressão do mastro central.

Estas unidades nunca foram produzidas, pois a Inglaterra optou por investir em armas e defensivos, ficando sem recursos para a produção das residências emergenciais (FU, MALESZYK e OCHOA, 2017).

Máquina de Habitar Dymaxion

Realizado em 1944.

Dados do projeto:

- Para uma família
- Planta circular
- Peso de 3 toneladas
- Aproximadamente 95m²
- Mastro com 6,7m de altura
- Ventilador com 5,5m de diâmetro
- Diâmetro total do edifício de 11m
- Volume de 340m³
- Possuía: 2 quartos, sala, cozinha, 2 banheiros Dymaxion, guarda-roupa giratório e lavanderia
- Mastro central como suporte
- Materiais utilizados:

- paredes e telhados de painéis inacabados de alumínio, provenientes de sobras das fabricas de aeronaves
- janelas de plástico
- banheiro, estrutura, deck, revestimentos internos, fundação e portas de alumínio
- mastro central de aço inoxidável
- ventilador de chapa aerodinâmica

-Componentes pesando 10kg carregáveis por apenas um homem

-Sistema estrutural:

- cabos de tração envolvendo a edificação com elementos inter cruzados no telhado
- anéis de compressão
- mastro central composto por 7 tubos de aço suspendendo e suportando a estrutura estável
- composto de 2000 partes diferentes entre si para facilitar a montagem, por categorias de: estrutura, revestimento, partições e instalações.

-Custo de 6.500,00 dólares

-Forma redonda que minimiza perda de calor e uso de materiais

Seu último e mais importante protótipo foi produzido em 1944, o qual foi o mais representativo como máquina de habitar, denominado como **Máquina de Habitar Dymaxion**. Após anos de estudos, alterações e tentativas, esse protótipo foi o último com o conceito Dymaxion.

O modelo de teste, realizado em escala real, foi montado a portas fechadas, e somente algumas fotos internas foram tiradas para publicidade (BALDWIN, 1996, p. 48). A companhia recebeu 3500 solicitações para construção da casa, o que demonstrou uma recepção bastante positiva da população (BALDWIN, 1996, p. 52).

Em 1945, a companhia considerou as unidades como finalizadas para venda, enquanto os clientes se encontravam na expectativa de adquirir a máquina de viver. No entanto, Fuller insistiu que a casa não estava apta (BALDWIN, 1996, p. 52) e o modelo não foi mais estudado ou mesmo solucionado nas adversidades necessárias para torná-lo apto.

Este empreendimento foi bastante representativo, recebendo o apoio da fábrica de aeronaves (*Beech Aircraft*), e das Forças Aéreas que solicitou dois protótipos (BALDWIN, 1996, p. 42). O final da guerra promoveu a volta de soldados sem trabalhos promissores, e a construção de casas em massa foi uma solução buscada pelo governo para favorecer este retorno (BALDWIN, 1996, p. 42).

O conceito Dymaxion representava certo ideal ousado para a época, no entanto, o modelo apresentou avanços em relação aos anteriores, e uma grande aceitação por parte do público e de demais envolvidos, possibilitando novas configurações para residências que nunca haviam sido salientadas:

O protótipo [da Máquina de Habitar Dymaxion] representou a primeira vez na história, em que a tecnologia de aeronaves - a mais sofisticada disponível – havia sido aplicada à habitação. A estrutura completa pesava cerca de três (2,7) toneladas e podia ser vendida pelo mesmo preço que um automóvel de luxo (cerca de 45,000

dólares em 1996), assim como Bucky havia previsto⁶¹ (BALDWIN, 1996, p. 48, tradução nossa).

As intenções de Fuller se tornaram fortemente reais, envolvendo o processo de produção em massa, os conceitos de residência autossuficiente e mais acessível à população. O processo de montagem também respeitava os propósitos do arquiteto bem como a manutenção dos componentes internos, no qual:

Uma instalação de dois dias com mínimo trabalho de fundação não requeria nenhum empréstimo de construção. Os custos de manutenção seriam mínimos - não havia nada para pintar, nada que apodrecesse e nenhum telhado para substituir - novamente. Utilidades e aparelhos eletrodomésticos poderiam ser atualizados à medida que se tornassem obsoletos. As contas de utilidades também seriam mínimas, a forma de domo, de baixo atrito, mantinha bem o calor, e usava condicionamento de ar natural⁶² (BALDWIN, 1996, p. 48, tradução nossa).

Assim como a Casa 4D Dymaxion, esta também era elevada do chão, com sistema de ventilação natural (BALDWIN, 1996, p. 48), planta circular e telhado abobadado. Interessante observar que as paredes e cobertura em formas de curvas permitiam que o saneamento fosse maximizado, sem cantos que promovessem proliferação de bactérias, indicando que Fuller também estava a par de questões higienistas.

Fuller desenvolveu para este modelo o banheiro Dymaxion, pré-fabricado e produzido em 1936. Este banheiro tinha uma estrutura leve e fácil de ser instalado, com superfície completamente plana e extremamente higiênica. Fazia a coleta separada de urina e excrementos, os quais eram reaproveitados em outros usos.

A casa tinha suas atividades agrupadas em torno do mastro central, que além de ser um mastro estrutural, também supria a energia para os equipamentos da residência, sendo um precursor do shaft⁶³. Possuía um plano de piso mutável, ou

⁶¹ Do original: "The prototype represented the first time in history that aircraft technology - the most sophisticated available - had been applied to housing. The complete structure weighed about 3 (2.7) tons, and could retail for the same price as a luxury automobile (about 45,000 1996 dollars), just as Bucky had predicted" (BALDWIN, 1996, p. 48).

⁶² Do original: "Two-day installation with minimal foundation work required no construction loan. Maintenance costs would be minimal - there was nothing to paint, nothing to rot, and no roofing to replace - again. Utilities and appliances could be upgraded as they became obsolete. Utility bills would be minimal too, the low-drag, domelike shape retained heat well, and used natural air conditioning" (BALDWIN, 1996, p. 48).

⁶³ Shaft: Duto vertical por onde passam os condutos de água, energia, telecomunicações, podendo ser também um espaço para circulação e ventilação de ar.

seja, era uma planta interna mais dinâmica, pois os equipamentos como banheiros eram realocados com facilidade, assim como qualquer componente da casa que poderia ser retirado e substituído sem afetar os demais componentes (Figura 24). O telhado tinha uma malha de cabos tensionados que se entrecruzavam formando já neste modelo o princípio de uma forma geodésica.

Figura 24 - Planta da Máquina de Habitar Dymaxion

Fonte: BALDWIN, 1996. p. 51.

Em 1948, os dois protótipos do modelo foram comprados pela família de William Graham para serem reconstruídos em outro local:

[...] foi vendida por um dólar para um empresário visionário de Wichita, que a reconstruiu em sua propriedade fora da cidade. Serviu de casa para seus seis filhos, que gostavam de morar lá apesar de vazamentos de água e outros aborrecimentos⁶⁴ (BALDWIN, 1996, p. 56, tradução nossa).

⁶⁴ Do original: “[...] was sold for one dollar to a visionary Wichita businessman, who rebuilt it on his land outside of town. It served as home for his six children, who liked living there despite water leaks and other annoyances” (BALDWIN, 1996, p. 56).

Os dois protótipos foram combinados em sequência vertical, e Graham descaracterizou o projeto, inserindo várias alterações tais como, o módulo inferior se tornou um porão com base fixa, retirando a característica de estrutura suspensa; o sistema de isolamento foi colocado nas áreas metálicas devidos aos ruídos que ocorriam com alterações de temperatura; os armários personalizados, que possuíam rotação de prateleiras, foram substituídos por móveis tradicionais; o ventilador rotativo não foi instalado e, a família também fez uma varanda e uma extensão ao lado da unidade de Fuller (FU, MALESZYK e OCHOA, 2017). Foi mantido o estilo da fachada externa, excluindo os cabos tensionados e ignorando as ideias de Fuller que a caracterizavam como autossuficiente. Depois de alguns anos a casa permaneceu ainda intacta, apesar de abandonada, e em 1992 foi doada para o Museu Henry Ford, que recuperou a estrutura inicial, na tentativa de manter o mais próximo do projeto original de Fuller (FU, MALESZYK e OCHOA, 2017).

Como Fuller havia se desprendido dos protótipos, quando eles foram comprados e reconstruídos, o arquiteto não participou do processo, bem como não acompanhou as questões que poderiam ter sido aprimoradas, visto que seus interesses haviam se voltado para outras indagações, e o projeto, após anos de uso apresentou impasses:

Anos de uso na vida real revelaram problemas, principalmente causados por instalação inadequada. A casa vazava drasticamente (como havia sido projetado para fazer) porque o empreiteiro não incluiu a calha do perímetro interior para coletar a água que entrava por entre os escoamentos da cobertura (painéis do telhado). Várias camadas de selante hediondo (e fútil) prejudicaram a aparência de nave espacial reluzente.

O duto específico para condução de ar que teria fornecido aquecimento solar e a 'máquina de refrigeração' não foi instalado. Em seu lugar, uma escada em espiral envolvendo o mastro a partir do porão, através da nave principal, até os quartos no segundo andar de compensado. O respiradouro rotativo foi selado e permanentemente mobilizado para eliminar o barulho que fazia à medida que girava, e porque as crianças se preocupavam (desnecessariamente) em serem sugadas para fora. Sem o sistema pretendido de tratamento de ar, equipamentos convencionais de aquecimento e resfriamento geraram enormes contas de serviços públicos. Quando o dono morreu, a casa foi abandonada, e a família se mudou para a cidade⁶⁵ (BALDWIN, 1996, p. 56, tradução nossa).

⁶⁵ Do original: "Years of real-life use revealed problems, mostly caused by improper installation. The house leaked drastically (as it had been designed to do) because the contractor did not include the interior perimeter gutter to catch the water entering between the cowling gores (roof panels). Multiple layers of hideous (and futile) sealant marred the gleaming spaceship appearance.

Muitos dos problemas que a casa apresentou foram referentes à remontagem não adequada das partes, e das modificações realizadas ao longo da mesma. Embora o projeto de Fuller não estivesse finalizado, não foi possível verificar a autonomia e autossuficiência que sua máquina de viver poderia promover, pelo descaso quanto às implicações que ele já havia solucionado.

A seguir podemos observar na figura 25, à esquerda, a proposta inovadora de Fuller, construída ainda como protótipo, seguindo suas ideias entre 1944 e 1946, e à direita, uma fotografia de como se encontra no Museu Henry Ford, após as alterações feitas pelos moradores e reconstrução.

Figura 25 - Máquina de Habitar Dymaxion em Wichita

Legenda - À esquerda a imagem externa, à direita a imagem interna. Construída em Wichita em 1948, baseado na Máquina de Habitar Dymaxion.

Fonte: KILSON, 2016 e SUBRAMANIAN, 2016.

O intuito de Fuller era desenvolver casas com o propósito de torná-las acessíveis para todos, com linha de produção em massa para diminuir o custo, com materiais reciclados de sobras de construções de aeronaves, autossuficientes e independentes, capazes de produzir sua própria energia, própria comunicação, tratamento e reutilização dos resíduos de banheiro, com auto regulação de temperatura e ventilação, auto limpante, entre outras características que tornaram claro o uso das tecnologias mais avançadas para a época. No entanto, nunca teve a

The specified air-handling ductwork that would have provided solar heating and 'chilling machine' cooling was not installed. In its place, a spiral staircase wound around the mast from the basement, through the main deck, up to plywood second-deck bedrooms. The rotating vent was de-ruddered and permanently immobilized to eliminate the rumbling noise it made as it turned, and because the kids worried (needlessly) about being sucked out. Without the intended air-handling system, conventional heating and cooling equipment ran up huge utility bills. When the owner died, the house was abandoned, and the family moved to town" (BALDWIN, 1996, p. 56).

oportunidade de finalizar suas ideais, permanecendo como último legado deste período a Casa Wichita, que, não obstante tem um grande valor:

Como um conceito, a Casa Wichita deve ser considerada um sucesso. Ela mostrou o que era possível. [...] Um novo projeto traria habitação de alta tecnologia, de longa duração, eficiente em termos de energia, a um preço que as pessoas comuns podem pagar. Seria construído por trabalhadores que já não trabalhavam na fabricação de armas para um mundo que precisa de paz⁶⁶ (BALDWIN, 1996, p. 61, tradução nossa).

Como considerações a respeito do conceito Dymaxion, Buckminster Fuller, teve o intuito de tornar o modo de viver automatizado. Embora suas ideias pertençam ao período anterior e ao longo da ciência das máquinas ideais de Ashby, o trabalho do arquiteto foi ao encontro das mudanças de pensamento e alterações de paradigmas da Arquitetura Moderna e da comunicação, podendo representar a aplicação de *Homeostato* na arquitetura. Com capacidade de se adaptar às diversas condicionantes e ainda assim manter a residência adequada aos seus usuários, Fuller mostrou uma grande inovação e não foi bem recebido, embora pensasse em prol da população com o objetivo de fazer habitações que pudessem melhorar as condições de moradia, de forma sustentável e tecnológica, a consciência do público ainda permanecia preso ao passado.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A CIÊNCIA DAS MÁQUINAS IDEAIS E CONCEITO DYMAXION

Analisando os protótipos através do conceito Dymaxion e considerando o processo como um ecossistema, as entradas (*inputs*) de informações que o arquiteto escolheu como foco para tratar no projeto foram principalmente duas, a inovação tecnológica e os novos modos de vida na era da industrialização.

Entre 1927 e 1950, a industrialização, chamada também era das máquinas, estava se consolidando, sendo para Buckminster Fuller um objetivo importante para acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos, relacionado ao processo de projeto

⁶⁶ Do original: “As a concept, the Wichita House must be considered a success. It showed what was possible. [...] A new project would bring high-tech, long-lived, energy-efficient housing at a price ordinary people can afford. It would be built by workers no longer employed in making weapons for a world that needs peace” (BALDWIN, 1996, p. 61).

e modo de construção. Reyner Banham (BANHAM, 1979, p. 510) introduziu Fuller como um participante desse período de transformações dos conceitos arquitetônicos em função da máquina, porém, o arquiteto tomou um caminho distinto dos demais, na tentativa de oferecer outra forma de interação entre ambiente e usuários. Embora tenha atuado antes e ao longo das propostas de Ross Ashby, ele contribuiu para as mudanças de paradigma da época, realizando uma arquitetura com intenções adaptativas e automatizadas para os usuários.

Através das leituras entendeu-se que o objetivo do arquiteto era produzir uma habitação a qual todos pudessem ter acesso, com um custo baixo, reciclagem de materiais desperdiçados de aeronaves de guerra, peso leve e de fácil montagem, através de um sistema de produção em série, considerando o ambiente e a economia de forma que fosse benéfico nos dois sentidos.

Diante dos conceitos elaborados por Ashby, a respeito da ciência das máquinas ideais, de maneira mais geral foram pontuadas algumas características que se aproximam ao Dymaxion de Fuller:

❖ **Variáveis essenciais:** As variáveis essenciais da casa foram definidas pelas condições limites dos organismos humanos, na qual as residências deveriam atender as condições para o conforto térmico e qualidade do ar dos usuários.

❖ **Retroalimentação entre organismo e ambiente:** A casa foi delineada para que as condições externas, ou distúrbios, não interferissem no conforto térmico e mesmo na qualidade do ar. Para tal, elaborou um ventilador capaz de manter o ar interno salubre e agradável, garantindo uma temperatura contínua e controlada, assim como uma iluminação natural irradiada pela habitação e sua intensidade adaptável.

❖ **Estabilidade das partes pelo todo:** As casas apresentavam flexibilidade de reconfiguração interna, com partes que a compunham, tais como banheiros, habitações, mastro central com energia, água, iluminação e ventilação. As partes formam o todo, e esse todo representava uma máquina ideal, na qual as condições naturais do ambiente eram adaptadas aos usuários, mantendo sempre uma estabilidade.

❖ **Conexões das partes:** A partir do mastro central, os equipamentos e ambientes eram conectados a ele para receber o fornecimento de energia, iluminação e ventilação. Além disso, as partes possuíam conexões entre elas. Dessa

forma, havia conexões *independentes* em termos de funcionamento dos equipamentos, e uma *interdependência* na relação interna dos ambientes.

❖ **Tentativa e erro:** Fuller desenvolveu quatro protótipos importantes que apresentaram uma evolução de suas ideias, esse processo de tentativa e erro foi importante para avançar tanto seus conceitos quanto na adequação do ambiente em função dos organismos. Os estudos permitiram um desencadeamento da automação de mecanismos para o conforto térmico e qualidade do ar nos espaços.

❖ **Adaptação/ Homeostase:** As casas de Fuller, sob o ponto de vista da ciência das máquinas ideais, eram bastante homeostáticas. As flexibilidades do ambiente tornavam a arquitetura responsiva, sempre buscando um equilíbrio interno diante das possibilidades de adaptações em função das necessidades dos usuários.

Fuller compôs quatro protótipos que representaram uma evolução do conceito Dymaxion. O primeiro, Casa 4D Dymaxion foi exibido na loja de departamento Marshall Field, em Chicago, relacionado com as condições da cidade. Já o segundo, o Dormitório Móvel Dymaxion, foi pensado para o clima frio da Rússia, enquanto que o terceiro, Unidade de Destacamento Dymaxion, foi proposto para duas situações, a primeira foi destinada às praias do Pacífico e Golfo Pérsico, e a segunda para a Inglaterra. O último modelo foi de fato construído para ser habitado, sendo este a Casa Wichita de 1948, construído em Kansas, centro dos Estados Unidos. A casa foi reconstruída com os protótipos da Máquina de Habitar Dymaxion, com inovações tecnológicas existentes na época, fechamento e cobertura de alumínio, plástico nos locais de vidro das janelas, entre outras características já explanadas anteriormente. É pertinente observar, no entanto, que a obra foi bastante modificada pelos usuários, que realizaram várias adaptações para adequar ao estilo de vida deles. A relevância está na constatação da oportunidade de se verificar o que o arquiteto projetou, e se realmente trouxe alterações nos modos de vida. É interessante ver também que era possível modificar a casa, o que levava à sua descaracterização. Do ponto de vista de homeostase em relação ao modo de vida, foi um sucesso, porque o projeto permitia as alterações, comprovado pela continuidade dessa família na residência por muitos anos. Fuller fundou sua empresa chamada *The Dymaxion Dwelling Machine Company* (1944-1947) para produzir as casas em massa, mas quando os comerciantes quiseram vender, Fuller julgou o projeto ainda incompleto, parando o desenvolvimento da proposta e não acompanhando a homeostase da Casa Wichita.

O projeto era muito avançado para a época, e por não estar finalizado, não influenciou a arquitetura daquele momento.

2.3. MÁQUINA IDEAL CONTEMPORÂNEA: BEDZED

No subcapítulo que se segue iremos analisar a proposta do Conjunto Habitacional BedZED (Beddington Zero Energy Development) – Figura 26, o qual tem como principal característica o gerenciamento dos fluxos, sendo estes os materiais, orientação dos edifícios e energias renováveis, entre outros. O controle desses processos contempla as inovações tecnológicas, modo de vida e regionalismo, observados nos projetos anteriores.

Figura 26 - BedZED

Fonte: ZED FACTORY, 2017.

Um edifício pode ser considerado como um sistema vivo, quando este apresenta as condições de adaptação equivalente a um organismo. Para tal, segundo John Goldman (1979), uma habitação pode contemplar características de homeostase por meio de adaptação:

À medida que fontes de energia renovável substituem energias não renováveis, os edifícios devem evoluir para novas formas capazes de

explorar as energias renováveis de seus locais. Essas novas formas de construção são potencialmente responsivas, não só às energias renováveis de seus ambientes externos, mas também às necessidades e desejos das pessoas em seus ambientes internos⁶⁷ (GOLDMAN, 1979, p. 320, tradução nossa).

Portanto, uma edificação que insere o uso de energias renováveis busca alcançar condições semelhantes aos processos de organismos, e isso se reflete como foco inicial na entrada de informações escolhidas pelo arquiteto e equipes envolvidas. Em relação aos ingressos de dados que os edifícios podem permitir, se aproximando de um organismo que se adapta por homeostase pode-se observar:

[...] decidiram os insumos de energia sub entrópica⁶⁸ usados para manter sua homeostase. Os edifícios têm subsistemas decisivos, incluindo termostatos, computadores e pessoas, que controlam seus subsistemas restantes. Os edifícios também têm propósitos e objetivos, que lhes são dados pelos seus ocupantes. Os edifícios, então, são sistemas vivos.

Como eles são sistemas vivos, eles também podem ser chamados de organismos. É importante notar que ‘organismos’ nesse sentido não implica um tipo particular de composição orgânica, mas sim em um tipo particular de organização⁶⁹ (GOLDMAN, 1979, p. 311, tradução nossa).

Ao classificá-los como organismos, as questões de adaptação e homeostase se tornam premissas para que o edifício possa ser autônomo. No caso do BedZED, as energias renováveis configuram uma adaptação frente às qualidades que esta apresenta para o organismo, até mesmo em relação à facilidade de automação arquitetônica por meio de soluções de aproveitamento dos recursos naturais. A organização em subsistemas pode ser entendida através das várias compartimentações estabelecidas no projeto, podendo ser os apartamentos, áreas

⁶⁷ Do original: “As renewable energy sources replace nonrenewable energies, buildings must evolve to new forms capable of exploiting the renewable energies of their sites. These new building forms are potentially responsive not only to the renewable energies of their external environments, but also to the needs and desires of the people within their internal environments” (GOLDMAN, 1979, p. 320).

Imagem de ilustração do projeto – Fonte: ZED FACTORY, 2017.

⁶⁸ Sub entrópico: com baixa entropia, ou seja, pouco ou nenhum caos energético.

⁶⁹ Do original: “[...] have decided sub entropy energy inputs used to maintain their homeostasis. Buildings have decided subsystems, including thermostats, computers, and people, which control their remaining subsystems. Buildings also have purposes and goals, which are given to them by their occupants. Buildings, then, are living systems.

Since they are living systems, they may also be called organisms. It is important to note that ‘organisms’ in this sense does not imply a particular sort of organic composition, but rather implies a particular sort of organization” (GOLDMAN, 1979, p. 311).

de trabalho, jardins, setores de convívio e rede de comunicações, seja como pedestre (comunicação interna ao empreendimento) ou com transportes públicos ou carros elétricos (conexões externas). Os cursos de energia e matéria, relacionados aos organismos, podem ser vistos de maneira equivalente nos edifícios, pois a forma como estão organizados permite o controle das ações em função da busca pela homeostase:

Os edifícios podem incluir os mesmos subsistemas de processamento de matéria-energia e de processamento de informações que organismos simples. As estratégias para integrar esses subsistemas em edifícios incluem ter múltiplos sistemas para cada trabalho; fazer com que cada sistema faça muitos trabalhos; e ter saídas de um subsistema se tornando as entradas de outro subsistema⁷⁰ (GOLDMAN, 1979, p. 309, tradução nossa).

Dessa forma, as entradas, tanto de energia como de matéria, ocorrem através da disposição de subsistemas que realizam as atividades de maneira integrada. Neste caso, assemelha-se à configuração da máquina Homeostato de Ashby, no qual os subsistemas se interligam formando uma corrente em que a saída do anterior é entrada do próximo.

A organização em subsistemas nos organismos permite um controle dos processos realizados dentro do mesmo, e os edifícios vivos refletem condições equivalentes, ou seja, “Existe potencial para que os edifícios sejam altamente responsivos tanto ao ambiente externo quanto aos desejos de seus ocupantes em seus ambientes internos”⁷¹ (GOLDMAN, 1979, p. 309, tradução nossa).

A inteligência de um edifício está na evolução que este apresenta para garantir a homeostase em prol das variáveis essenciais premeditadas pelos habitantes que se encontram nos ambientes internos do edifício:

Alguns trabalhos sugeriram o importante papel inteligente, em evolução, que ambientes construídos poderiam ter para melhorar as

⁷⁰ Do original: “The energy processing aspects of buildings which depend on renewable energies are graphically compared to the energy processing aspects of organisms, and they are shown to be functionally equivalent. Buildings may include the same matter-energy and information processing subsystems as simple organisms. Strategies for integrating these subsystems in buildings include having multiple systems for each job; having each system do many jobs; and having subsystem outputs become another subsystem's inputs” (GOLDMAN, 1979, p. 309).

⁷¹ Do original: “The potential exists for buildings to be highly responsive to both their external environment, and to the desires of their occupants within their internal environments” (GOLDMAN, 1979, p. 309).

vidas das pessoas. Esses ambientes poderiam potencialmente ser mais sensíveis às necessidades e desejos das pessoas do que os nossos atuais ambientes construídos. Isso seria possível se o ambiente ao qual o edifício está respondendo, e em que está evoluindo, incluísse informações descrevendo os estados internos de seus ocupantes⁷² (GOLDMAN, 1979, p. 319, tradução nossa).

Os espaços que apresentam essa preocupação com a qualidade dos ambientes e a inclusão de informações necessárias para garantir a homeostase, e consequentemente, a qualidade do edifício, pode ser atingida pela automação arquitetônica, que permite entradas de informação e autorregulação dos subsistemas.

Desta forma, o edifício que se organiza como subsistemas, controlando os fluxos e os processos dos mesmos para garantir a homeostase em função das premissas dos usuários e entender a relevância para o uso de energias renováveis, de maneira a se relacionar tanto com as questões externas e internas, configuram-se como uma construção de retroalimentação entre máquina e homem, classificando-se como um sistema vivo (GOLDMAN, 1979, p. 310).

BEDZED

A seguir, encontra-se uma análise do Conjunto Habitacional do BedZED, no qual é possível observar as características de entradas de informações dada pela equipe de trabalho, sendo estas a busca pela homeostase interno do edifício, as questões culturais da região e a qualidade de vida. Essas proposições são homologadas através do controle dos fluxos e

BedZED: Beddinton + Zero + Energy + Development

Local: Beddington, Londres, Inglaterra
Data da conclusão do projeto: 2002
Arquiteto responsável: Bill Dunster e ZED Factory
Materiais: para a construção foram usados materiais de demolição, reciclados e reaproveitados, buscados em um raio de 80 km
 -Uso misto
 -Maior durabilidade
 -Aumento de empregos locais
 -Sem necessidade de buscar petróleo no exterior
 -Sem contribuir na aceleração das mudanças climáticas
 -Sem necessidade de energia externa
 -Redução da concentração de riqueza por parte das multinacionais controladoras de energia e transporte
 - Redução de demandas dos recursos naturais
 - Melhor qualidade de vida
Recursos:
 -Tratamento da água
 -Tratamento de resíduos (zero lixo para os aterros)
 -Geração de energia e calor (zero contas aos usuários)
 -Aumento da iluminação solar e ventilação
 -Zero produção de carbono e diminuição de pegada de carbono através de transportes alternativos
 -Teto jardim acessível para uso dos usuários

⁷² Do original: "Some work has suggested the important rôle intelligent, evolving, built environments could serve for enhancing people's lives. These environments could potentially be more responsive to the needs and desires of people than are our present built environments. This would be possible if the environment the building is responding to, and evolving in, includes information describing the internal states of its occupants" (GOLDMAN, 1979, p. 319).

processos frente à introdução de energias renováveis e demais componentes abióticos.

O BedZED foi pensado como uma proposta para respeitar as condições bioclimáticas de Londres, como orientações solares, direções de ventos, e demais configurações abióticas que pudessem proporcionar maior aproveitamento dos recursos assim como a relação com o entorno imediato, no qual foi proposto a utilização de carros elétricos coletivos, transporte público e bicicletas e qualidade de vida.

A primeira questão aprimorou as condições de adaptação e automatização do controle de temperatura, insolação, ventilação, produção de energia, reciclagem e tratamento de resíduos, trazendo inovações e tecnologias que configuram o empreendimento como adaptativo em relação aos insumos e evasões externos ao edifício, potencializados para se obter maior eficiência (ARCHITECTS, 2002, p. 13).

A segunda questão foi em função do ambiente em que o empreendimento estava inserido, no qual se encontrava em uma zona afastada do centro da cidade, pouco habitada na época. O objetivo era aumentar a densidade e inspirar os usuários ao redor para participar dessa inovação, valorizando o local (ARCHITECTS, 2002, p. 28), e ampliando suas conexões com a cidade de Londres via meio de transportes que ajudariam na preservação dos recursos, e o encadeamento da economia local.

Essas alegações proporcionam a terceira questão tratada pelo empreendimento, associada à conduta dos habitantes e às transformações dos hábitos, gerando autossuficiência e contemporaneamente, expressando o estilo de vida urbano e móvel, de forma que se estabelecesse um estado da arte para habitações sustentáveis no Reino Unido (ARCHITECTS, 2002, p. 3).

Situa-se nos subúrbios de Londres (aproximadamente 16,5 Km do centro da cidade – Figura 27), Inglaterra, localizado a aproximadamente 50 minutos de carro e 1 hora de transporte público.

Figura 27 – Localização do BedZED

Legenda – Localização o empreendimento BedZED em relação ao centro de Londres – 10,2 milhas (16,5 km).

Fonte: Google Maps.

O empreendimento do BedZED foi criado através de parcerias incluindo principalmente a Peabody Trust, associação de casas de Londres que possui tradição em empreendimentos inovadores; BioRegional Development Group, grupo que busca a sustentabilidade da economia local e das comunidades; Bill Dunster Architects, escritório de arquitetura responsável pelo projeto; Ove Arup & Partners, responsável pela construção das engenharias físicas e serviços de engenharia; Gardiner & Theobald, responsável pela coordenação em conjunto com a equipe de projeto para obter o menor custo de obra com as funções necessárias; ZED team, equipe formada pelos representantes dos parceiros que colaboraram para o empreendimento evoluir, e por último, o grupo Ellis and Moore, empresa responsável pela engenharia civil da construção (ARCHITECTS, 2002, p. 6).

Embora tenha sido finalizado em 2002 continuou recebendo apoio da empresa ZED Factory, responsável pelo empreendimento, para realizar qualquer manutenção da garantia do conjunto por 10 anos após a sua construção.

O desenvolvimento do projeto ocorreu de maneira colaborativa entre os agentes tomadores de opinião, diferindo-se dos processos anteriores. Isso se deu pelo fato que Fuller realizou suas atividades de acordo com os períodos ao qual fazia parte, e no BedZED a colaboração e integração de projetos já havia se alterado para abraçar a interdisciplinaridade.

Bem como Ashby, os encarregados do desenvolvimento do projeto BedZED se inspiraram nas relações existentes da natureza:

Se a atividade humana deve ser sustentável em longo prazo, os sistemas naturais podem nos fornecer um modelo. [...] os sistemas naturais são, na verdade, baseados em:

- ❖ Equilíbrio entre diferentes espécies
- ❖ Harmonia com o meio ambiente
- ❖ Recirculação de nutrientes e energia⁷³ (ARCHITECTS, 2002, p. 4, tradução nossa).

O BedZED apresenta configurações que o constituem, por meio de modelos ecossistêmicos, um sistema no qual a entrada de insumos externos, tais como energia elétrica, água potável e alimentos, são recebidos em pouca quantidade pelo empreendimento. Na proposta, a energia é gerada por meio de placas fotovoltaicas e biomassa, reduzindo o consumo por iniciativas sociais e inserção de equipamentos com menos consumo. Da mesma forma, outras características como produção de alimentos orgânicos nos jardins e hortas do edifício foram contempladas. Em relação às saídas de insumos, ou seja, resíduos, os mesmos seriam tratados por sistemas de águas verdes (*Living Machine*⁷⁴) e filtragem de água por membrana ativa (CHANCE, 2009, p. 536), além de reciclagem.

Diante de tais configurações, no qual a entrada e saída foram reduzidas, o projeto configura-se como uma unidade com tendências autossuficientes e auto organizadas, apresentando uma autonomia bastante avançada frente aos edifícios sem conformações de baixo impacto ambiental e econômico.

⁷³ Do original: "If human activity is to be sustainable over the long term, the natural systems can provide us with a model. [...] natural systems are actually based on: balance between different species, harmony with the environment, recirculation of nutrients and energy" (ARCHITECTS, 2002, p. 4).

⁷⁴ Living Machine são sistemas de tratamento de águas residuais por meio de plantas e bactérias

Por ser uma organização que busca a sustentabilidade, o BedZED foi projetado com o objetivo de receber o mínimo de insumos externos, bem como a eliminação dos mesmos. Para tal, previu sistemas de geração de energia que fossem próximos da autossuficiência, “[...] visou reduzir a demanda de energia para aquecimento, refrigeração e ventilação em 90% [...] e também visou garantir que os edifícios não precisassem de energia para conseguir isso durante a maior parte do ano”⁷⁵ (CHANCE, 2009, p. 532. Tradução nossa).

A cobertura do BedZED apresenta visualmente muitas questões relacionadas à sua autonomia e auto regulação, como por exemplo, ventiladores, teto-jardim e placas fotovoltaicas (Figura 28). Em sua pele apresenta 777 m² de placas fotovoltaicas que fornecem vinte por cento da energia que o edifício consome (CHANCE, 2009, p. 533), além de outra combinação energética, incluindo:

Uma unidade combinada de calor e energia (CHP) de 130kW foi instalada para fornecer a eletricidade remanescente e toda a água quente através de um sistema de aquecimento distrital. O combustível destinado a ser utilizado eram resíduos locais de podas de árvores da Croydon Tree Station, que foi iniciado antes do BedZED pela BioRegional para fornecer localmente biomassa certificada pelo Forest Stewardship Council⁷⁶ (CHANCE, 2009, p. 533, tradução nossa).

Assim sendo, a potência usada pela edificação provém de três sistemas diferentes, tendo a geração de energia por placas fotovoltaicas, biomassa e sistema urbano local. A energia usada pelos usuários refere-se ao aquecimento de água e mecanismos e equipamentos elétricos das casas, ambientes de trabalho e áreas comuns.

⁷⁵ Do original: “[...]aimed to reduce the energy demand for heating, cooling and ventilation by 90 per cent [...] and also aimed to ensure that buildings needed no energy to achieve this for most of the year” (CHANCE, 2009, p. 532).

⁷⁶ Do original: “A 130kW biomass combined heat and power (CHP) unit was installed to provide the remaining electricity and all the hot water through a district heating system. The fuel intended for use was local tree surgery waste from the Croydon Tree Station, which was set up prior to BedZED by BioRegional to provide local Forest Stewardship Council-certified biomass” (CHANCE, 2009, p. 533).

Figura 28 - BedZED

Legenda – Teto jardim como cinturão de biodiversidade, ventiladores em forma de capuz para controle da temperatura interna e placas fotovoltaicas.

Fonte: ZED FACTORY, 2017. Alterado pela autora.

A automação arquitetônica se reflete na organização das interferências externas, no qual as unidades possuem sistemas de controle de gasto energético, em que:

Medidores de energia inteligente visíveis nas cozinhas deixam claro aos moradores quando estão usando energia, com um contador e uma luz vermelha que pisca com mais frequência quando mais eletricidade está sendo usada⁷⁷ (CHANCE, 2009, p. 533, tradução nossa).

O grupo também tinha por demanda garantir a eficiência como um objeto ideal, responsivo frente às necessidades dos usuários e adaptável aos limites fisiológicos dos mesmos. Para homologar essas condições, o edifício deveria apresentar sistemas de ventilação capazes de manter a temperatura interna das habitações adequada aos usuários. Previram um sistema de resfriamento e aquecimento de ar para garantir essa premissa:

Os capuzes icônicos nos telhados fazem parte de um sistema de ventilação passiva. Estes levam o vento para os quartos; no inverno, a diferença de pressão e temperatura do ar empurra o ar para fora através dos dutos. Os ocupantes podem facilmente controlar o fluxo de ar se houver muita corrente passando pelos dutos⁷⁸ (CHANCE, 2009, p. 533, tradução nossa).

⁷⁷ Do original: “Visible, smart-energy meters in the kitchens make it clear to residents when they are using energy, with a running tally and a red light that flashes more frequently when more electricity is being used” (CHANCE, 2009, p. 533).

⁷⁸ Do original: “The iconic cowls on the roofs are part of a passive ventilation system. These draw wind into the rooms; in winter, the difference in air pressure and temperature pushes air back out through the ducts.

Esse sistema de ventilação para controle passivo da temperatura atuava em conjunto com os espaços para insolação, que garantiam tanto a eficácia da iluminação natural, quanto ao aquecimento dos ambientes no inverno.

O sistema de ventilação, além de garantir que os limites fisiológicos humanos estejam sempre adequados e se adaptem frente às variáveis essenciais, também caracterizou visualmente o empreendimento, sendo valorizados por meio de coloração (Figura 29).

Figura 29 – Ventilação natural

Legenda – Ventiladores coloridos em forma de capuz, que mantêm a temperatura interna ideal, e os jardins das unidades.

Fonte: ZED FACTORY, 2017.

Estas configurações tornaram o projeto em uma unidade, no qual a quantidade de energia que entra do sistema convencional da cidade teve uma “Redução de 81% no uso de energia para água quente [...] e 45% de redução no uso de eletricidade”⁷⁹ (CHANCE, 2009, p. 533, tradução nossa) e o uso de água das empresas, “[...] 58 por cento abaixo da média de Londres”⁸⁰ (CHANCE, 2009, p. 537, tradução nossa). Estas características demonstram que os *inputs* do conjunto são menores que uma residência moldada seguindo as antigas características, assim como os *outputs* do BedZED também apresentam pouca saída, na qual a reciclagem

Occupants can easily control the flow of air if there is too much of a draft coming through” (CHANCE, 2009, p. 533).

⁷⁹ Do original: “Eighty-one per cent reduction in energy use for hot water [...] and 45 per cent reduction in electricity use” (CHANCE, 2009, p. 533).

⁸⁰ Do original: “[...] 58 per cent lower than the London average” (CHANCE, 2009, p. 537).

de seus resíduos atinge 60% de um total (CHANCE, 2009. p.38), há redução do uso de água potável do sistema urbano em 58% do que a média londrinense (CHANCE, 2009, p. 537) e o tratamento de resíduos por meio de *Living Machine* e membrana ativa.

Frente ao entendimento do planejamento urbano, o intuito do arquiteto Bill Dunster e de sua equipe, ZED Factory, foi configurar um edifício onde materiais de construção, distribuição de água e energia, resíduos, entre outras questões, fossem adquiridos perto do local de construção, ou mesmo produzidos no local (ARCHITECTS, 2002, p. 4) para impulsionar a economia da região.

Configura-se como um espaço de uso misto variado, sendo residências de diversas estruturas familiares, espaços de trabalho e convivência:

A comunidade abriga cerca de 220 residentes e 100 trabalhadores de escritório. As 99 casas compreendem 50% de habitação à venda, 25% de propriedades compartilhadas de trabalhadores chave [como por exemplo, enfermeiros e professores] e 25% de habitações sociais para alugar⁸¹ (CHANCE, 2009, p. 529, tradução nossa).

O projeto tinha por meta a concentração de atividades no local, e através de entrevistas com os moradores da região e de pessoas que iriam adquirir os imóveis, foram estipuladas demais áreas de convívio e espaço para atividades esportivas:

Espaços comuns em torno de BedZED incluem: as 'ruas vivas' de pedestres; uma pequena praça da vila popular entre crianças pequenas; um campo de esportes; lotes (para o cultivo de alimentos); e um centro comunitário chamado Pavilhão. Este centro oferece vestiários com chuveiros, sanitários, instalações básicas de alimentação e dois grandes espaços que são comumente usados para aulas de exercícios e dança, conferências e festas⁸² (CHANCE, 2009, p. 530, tradução nossa).

⁸¹ Do original: "The community is home to approximately 220 residents and 100 office workers. The 99 homes comprise 50 per cent housing for sale, 25 per cent key worker shared ownership and 25 per cent social housing for rent" (CHANCE, 2009, p. 529).

⁸² Do original: "Communal spaces around BedZED include: the pedestrianized 'living streets'; a small village square popular with young children; a sports pitch; allotments (for growing food); and a community centre called the Pavilion. This centre provides changing rooms with showers, toilets, basic catering facilities and two large spaces that are commonly used for exercise and dance classes, conferences and parties" (CHANCE, 2009, p. 530).

Dessa forma, o BedZED se estrutura como uma grande unidade composta pelos diferentes espaços, no qual um usuário pode realizar quase todas as atividades sem se deslocar.

A equipe desenvolveu o projeto de forma a garantir algumas premissas estabelecidas pelo Reino Unido, no qual deveria ocorrer a construção de 3,8 milhões de novas casas na Inglaterra até 2021. Diante desses requisitos, o BedZED tinha como proposta o adensamento de áreas urbanas, não tão consolidadas até o momento, sob mais uma questão salientada pelo governo, no qual as residências deveriam contemplar moradias de apenas uma pessoa, dito o crescimento de jovens e idosos morando sozinhos (ARCHITECTS, 2002, p. 8). Para tal, o grupo de trabalho contemplou essas duas questões, no entanto, a conformação das unidades se deu por meio de diversidades familiares e de usos (Figura 30):

Quatro tipologias diferentes foram projetadas no BedZED, baseadas vagamente em formas urbanas tradicionais inglesas, cada uma com diferentes subdivisões criando uma variedade de tipos de apartamentos: terraços virados para o sul com jardins frontais; terraços com espaço de trabalho e garagens para veículos; passarelas exclusivas para pedestres com entrada em pórtico para área de trabalho e café/ loja; habitação com espaço para atividades comunitárias, como creche, saúde e artes⁸³ (ARCHITECTS, 2002, p. 8, tradução nossa).

Figura 30 – Corte do BedZED

Legenda – Corte: ventiladores (capuz – azul), jardins (verde), área residencial (laranja), área de trabalho (vermelho), área de sol (para controle de temperatura e iluminação natural – amarelo), e passarela (roxo).

Fonte: CHANCE, 2009. p. 530. Alterado pela autora.

⁸³ Do original: “Four different typologies have been designed at BedZED, loosely based on traditional English urban forms, each with different subdivisions creating a variety of flat types: south-facing terraces with front gardens; terraces with workspace and vehicle mews; pedestrian-only mews with gable-end entry workspace and café/shop; housing with space for community activities such as childcare, health and arts” (ARCHITECTS, 2002. p. 8).

Por finalidade, o BedZED tinha intenções de influenciar a região, de forma a estimular a economia, desde a construção da edificação com materiais locais, de setores de serviço e comércio do bairro, incentivar o aprimoramento dos transportes de público e a valorização do território, além da tentativa de transmitir a atitude para novos empreendimentos imobiliários. No entanto, apenas algumas dessas questões foram contempladas na proposta, como o estímulo à economia e o aprimoramento dos transportes. O conjunto habitacional apresenta-se como um sistema fechado, e embora não afetou às novas construções na região, influenciou uma geração de arquitetos e engenheiros a atuarem de forma mais consciente e considerando questões e necessidades ambientais.

O arquiteto e os parceiros tinham por objetivo mudar a forma de viver dos londrinos, de forma a alterar a qualidade, sem mudar o estilo urbano. Para tal, algumas estratégias importantes foram levadas em consideração no desenvolvimento, tais como reconciliar uma maior densidade urbana com uma maior qualidade de vida, a criação de um cinturão verde, a redução do impacto ambiental da área urbana no Reino Unido, apoio à economia e comunidades locais e a utilização da biorregião local como fonte de materiais e energia (ARCHITECTS, 2002, p. 3).

Além das características de um sistema natural terem sido considerados na elaboração do projeto sustentável do BedZED, incluindo as inter-relações na habitação com o meio ambiente ou mesmo com o fluxo de energia e ciclagem de matéria, também foi relevante reconhecer “[...] o BedZED segue uma abordagem ecossistêmica através de planejamento integrado que explora as ligações positivas entre diferentes elementos”⁸⁴ (ARCHITECTS, 2002, p. 4, tradução nossa). Dessa forma, o “BedZED é um modelo para integrar soluções aos objetivos contraditórios do planejamento urbano”⁸⁵ (ARCHITECTS, 2002, p. 9, tradução nossa).

A automação serve para garantir a adaptação do ambiente em função das necessidades humanas, mas também, como no caso da verificação do uso de energia, resulta em uma percepção do gasto de recursos que cada unidade

⁸⁴ Do original: “BedZED follows this ecosystem approach by integrated planning that exploits the positive links between different elements” (ARCHITECTS, 2002, p. 4).

⁸⁵ Do original: “BedZED is a model for integrating solutions to the contradictory objectives of urban planning” (ARCHITECTS, 2002, p. 9).

emprega, salientando aos usuários a responsabilidade frente às questões de desperdícios:

Como parte de uma movimentação no sentido do que pode ser denominada 'cidadania urbana responsável', os residentes do BedZED poderão acompanhar o seu uso de aquecimento e eletricidade por medidores instalados em cada casa e escritório; baseando-se em um mecanismo de *feedback* de uso responsável. Além disso, todas as casas e escritórios estão equipados com iluminação de baixa energia e aparelhos com eficiência energética⁸⁶ (DENNIS, 2007, p. 22, tradução nossa).

Para o BedZED, assim como no conceito Dymaxion, os modos de vida anteriores a esses projetos não satisfaziam os inventores. No caso de Fuller, as inovações tecnológicas transformaram a forma de viver para uma condição automatizada, enquanto que no BedZED, a adaptação e a relação com o entorno tinham por objetivo garantir uma melhor qualidade de vida, não só dos usuários mas também das pessoas do bairro.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A CIÊNCIA DAS MÁQUINAS IDEAIS E BEDZED

O BedZED inova no processo ecossistêmico através da escolha de critérios de entradas (inputs) de informações escolhidas pelo escritório de arquitetura, e demais equipes envolvidas. O foco foi o emprego de configurações adaptativas, por meio de inovações tecnológicas e técnicas passivas mediante o respeito às condições abióticas da cidade; a importância da biorregião e conexões com a mesma, incluindo a busca pelo conforto térmico e qualidade do ar dos usuários através de bem estar social e econômico. A proposta ainda previa uma alteração do modo de viver, com a produção local de alimentos orgânicos, hábitos de utilização de transportes como bicicleta, qualidade do ar interno, do paisagismo e contemplação das áreas verdes, criando um cinturão de biodiversidade para atrair diversas espécies animais.

⁸⁶ Do original: "As part of a move towards what may be termed 'responsible urban citizenship', BedZED residents will be able to keep track of their heat and electricity use by meters that are fitted in each home and office; thus relying on a feedback mechanism of responsible usage. On top of this, all homes and offices are fitted with low energy lighting and energy efficient appliances" (DENNIS, 2007, p. 22).

Em 2002, a ciência das máquinas já havia reformulado diversas outras áreas em tempos anteriores. A equipe considerou importante que os espaços fossem adequados para o conforto térmico e qualidade do ar, frente às características bioclimáticas e da inserção cultural local, repensando o empreendimento a partir de fluxos e energias que decidiam todas as escolhas projetuais como, por exemplo, materiais, modo de produção e uso. John Goldman (GOLDMAN, 1979, p. 320) evidenciou as questões sobre os edifícios serem sistemas vivos, que, quando condicionados por energias renováveis apresentam comportamentos responsivos e apresentam homeostase.

O objetivo da equipe interdisciplinar foi, portanto construir um espaço que refletisse um modo de vida ecológico e de alta qualidade, adaptativa aos usuários, sem abandonar o estilo urbano e móvel, preservando os recursos naturais, sem a necessidade de muitos insumos externos, bem como a evasão de poucos resíduos.

Diante dos conceitos elaborados por Ashby, relacionados à ciência das máquinas ideais, foram pontuadas algumas características que se aproximam de maneira mais geral ao BedZED:

- ❖ **Variáveis essenciais:** As variáveis essenciais do empreendimento foram determinadas pelas condições fisiológicas do homem, atendendo ao conforto térmico e qualidade do ar, bem como o estilo de vida dos usuários.
- ❖ **Retroalimentação entre organismo e ambiente:** Assemelha-se ao Dymaxion de Fuller, no qual o organismo dita as condições fisiológicas e o ambiente adequa-se aos distúrbios externos em função dos limites humanos. No entanto, também ocorre outra retroalimentação relacionada às características regionais dos usuários, havendo uma acomodação à forma de existir local. A relação de retroalimentação se dava entre o usuário e o ambiente, fosse este abiótico ou cultural.
- ❖ **Estabilidade das partes pelo todo:** O BedZED estrutura-se de várias partes unidas, no qual cada unidade residencial, de trabalho, comercial ou convívio representa um subsistema. As frações se conectam formando um conjunto habitacional, no qual as áreas físicas, entrada de insumos (energia, água, ventilação, pessoas) e a sequência de atividades (tratamento de resíduo e reciclagem de materiais) representavam subsistemas atrelados e estáveis.

❖ **Conexões das partes:** As partes se configuram como subsistemas, no qual há uma *interconectividade* interna a eles, no entanto, se conectam diretamente ao sistema urbano, aos insumos externos e atividades de forma *independentes*. Assim, esses subsistemas garantem uma comunicação em tempo mais adequado para o processamento de informações. Contudo, há outra comunicação entre as unidades residências, de trabalho e comerciais vizinhas ao empreendimento, no qual as pessoas se relacionam de maneira *interconectada* emocionalmente, sem subsistemas.

❖ **Tentativa e erro:** O arquiteto Bill Dunster projetou e construiu uma casa chamada Hope House, uma unidade familiar, para testar a eficiência da proposta do BedZED, que foi desenvolvido ao longo de cinco anos antes de ser efetivamente erguido. Como o empreendimento foi acompanhado e mantido por dez anos pela empresa ZED factory, foi possível observar que algumas questões deveriam ser corrigidas, como o tratamento de esgoto, no qual foi inserido outro sistema além de *Living Machines*, com filtragem por membrana ativa (CHANCE, 2009, p. 536), e a utilização de materiais inadequados na cobertura que emitem dióxido de carbono (LAZARUS, 2002, p. 35).

❖ **Adaptação/ Homeostase:** Sob o ponto de vista da ciência das máquinas ideais, o BedZED representou um empreendimento homeostático, com a adaptação contínua dos ambientes internos. Também há ajuste do empreendimento em relação ao entorno e às culturas regionais, promovendo um projeto que deveria ter uma relação de *feedback* em relação ao bairro.

Foram contemplados pelo BedZED várias questões. No **âmbito ambiental**, o empreendimento utiliza combustível de baixa energia e sendo renovável, possui um gerador de calor e energia através de biomassa, placas fotovoltaicas, zero emissões de gás carbônico (CO₂), materiais recuperados, medidas para preservação da biodiversidade através da vegetação inserida, jardins privados e o Green Travel Plan (sistema de transporte que utiliza os transportes públicos, bicicletas e carros coletivos elétricos, medidas para que a viagem seja menos prejudicial ao ambiente). No **âmbito social**, o edifício possui uso misto e configurações de diversos tamanhos dos quais 2/3 são acessíveis para habitações sociais, havendo ainda instalações comunitárias, como campo de esportes, praça da vila, centro de vida saudável, creche e um café. No **âmbito econômico**, o uso dos materiais de origem local gera emprego, o desenvolvimento de empresas (ARCHITECTS, 2002, p. 3).

O projeto do BedZED, tem as duas entradas dos projetos anteriores: inovações tecnológicas e modo de vida que aparecem nos projetos de Fuller. A relevância do empreendimento contemporâneo está na inovação em diversas vertentes, denotando uma forma responsável de controlar o meio, através de análises de fluxos inseridos como entrada, como por exemplo, as energias renováveis, materiais de construção, orientação solar e de ventilação, e controle dos processos para garantir a Homeostase da edificação e a manutenção da sustentabilidade, mesmo na eliminação de resíduos.

CONSIDERAÇÕES PARTE I

A partir da apresentação da ciência das máquinas desenvolvida por Ross Ashby, apresentamos uma análise comparativa, a fim de estabelecer critérios de adaptabilidade dessa teoria ao processo de projeto. Foram levados em conta dois momentos arquitetônicos importantes. O primeiro, que ocorreu entre 1927 e 1948, e no qual o arquiteto Richard Buckminster Fuller desenvolveu o conceito Dymaxion, anterior e ao longo da consolidação da ciência das máquinas ideais de Ashby, mas relevante para a mudança de paradigma do período industrial. O segundo momento, construído em 2002, em que o BedZED reflete o período contemporâneo, aproximadamente 50 anos após as ideias de Ashby.

Em relação ao local: Os quatro protótipos residenciais de Fuller eram propostos para diversos climas, sendo estes a cidade de Chicago, o clima frio da Rússia, praias do Pacífico e terras inglesas e por último a região central dos Estados Unidos. Cada protótipo teve uma revisão em função do local a ser construída. O último projeto analisado, BedZED, foi planejado para o clima chuvoso clima de Londres.

Em relação às premissas iniciais: As premissas consideradas nos dois projetos analisados foram diferentes entre si. No conceito Dymaxion as entradas que Fuller que guiaram as decisões projetuais foram as inovações tecnológicas e o modo de vida, enquanto o BedZED considerava os fluxos de energia e líquidos como norteadores.

Em relação à escolha das tecnologias: Fuller escolhe materiais como alumínio, madeira estrutural, plástico, disponíveis, mas não usados comercialmente, no qual ele teve conhecimento porque estava vinculado a centros de pesquisa norte-americanos. O conceito Dymaxion premeditava acompanhar as tecnologias mais avançadas da época, já o BedZED retoma as inovações tecnológicas e avanço em pesquisas que respaldam as atualizações, frente às possibilidades nos avanços de mecanismos e acessos a informações.

Em relação ao programa espacial: O Dymaxion prevê uma reconfiguração espacial inovadora, promovendo outras formas de viver. Podemos observar que a família que vai habitar o último protótipo vai realizar várias adaptações e modificações para reverter os avanços no entendimento de Fuller como o homem dessa época deve organizar seu espaço. Podemos observar ainda que o projeto

permite essas alterações, que pode ser interpretada como uma forma de homeostase. O BedZED, mesmo com todas as suas inovações tecnológicas, integração de materiais e energias renováveis, e a disponibilidade de alguns espaços coletivos, falha na inovação dos espaços de habitação que são propostas para configurações familiares, com plantas convencionais.

Em relação ao limite da atuação do arquiteto: Os limites de decisões impostos nos projetos ocorrem devido ao gerenciamento do processo arquitetônico realizado pela coordenação do arquiteto, frente às entradas inseridas de forma a conduzir para um artefato. Quando o controle não é realizado de maneira integrada, como por exemplo, em conjunto com os demais agentes que fazem parte do desenvolvimento, sejam engenheiros ou paisagistas, o projeto se torna mais limitado frente às capacidades de apenas poucas pessoas envolvidas. Podemos identificar que aplicação dos princípios da homeostase no processo de projeto é limitada pelas próprias decisões que o arquiteto tem que tomar ao longo da concepção e construção, precisando dar conta das múltiplas entradas. Sem querer responsabilizar o arquiteto, o processo de projeto pode ser percebido como dependente de uma complexidade, que ele sozinho não consegue resolver.

Em relação à Homeostase: O desrespeito às características que tornam um edifício homeostático leva à limitação do arquiteto como um profissional inapto para o entendimento da arquitetura como atividade responsiva e adaptável em função do homem. Desta forma, uma arquitetura que considera a relação entre o ambiente e o homem apresenta-se como coerente e responsável. No caso de Fuller, o fator limitante para a devida implementação de seu conceito se deu pelo avanço das ideias em um período ainda não preparado para esta inovação, enquanto que o BedZED não conseguiu desempenhar uma influência na região em que foi inserido, mesmo após 15 anos. Embora tenha havido limitações em todos os projetos analisados, estes representaram características homeostáticas relevantes e de grande valor para a arquitetura. Fuller apresentou o desenvolvimento do conceito Dymaxion como capaz de realizar adaptações internas e controles das condições ambientais externas. Finalmente, o BedZED retoma as questões de Fuller frente à adaptação do ambiente, acrescido do entendimento dos fluxos interligados das várias partes que compõem o empreendimento, respondendo a um momento onde a arquitetura tomou como parte projetual critérios sustentáveis.

Assim sendo, a homeostase é um importante e possível norteador processual. A análise destes dois projetos realizados em períodos diferentes e sequenciais, no qual a adaptação por meio da homeostase e automação arquitetônica é foco, permite demonstrar claramente que o uso dessa ciência auxilia ativamente nas decisões projetuais. Em adição, foi possível constatar através destas análises que os processos arquitetônicos são norteados pelo respeito ao homem e ao ambiente no desenvolvimento das edificações, refletido por meio da adaptação em função dos limites fisiológicos e subjetivos dos organismos. Deste modo, a deferência aos processos de projeto arquitetônico que refletem a presença da ciência das máquinas ideais e as configurações ecossistêmicas como condicionantes reverberam no cumprimento de uma arquitetura responsável.

PARTE II -

CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM: A VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA

IMAGEM: M. C. ESCHER – ESFERA ESPIRALADA

INTRODUÇÃO

A Parte II trata de três âmbitos relevantes na pesquisa divididos em dois capítulos. No capítulo *REDES DE INTERAÇÕES E SINERGIA NO PROCESSO DE PROJETO* foram investigadas as duas primeiras abordagens, a primeira trata dos fundamentos da pesquisa e trazem a discussão sobre a Cibernética de Segunda Ordem relacionada à viabilização em função da sistematização elaborada por Anthony Stafford Beer. A segunda abordagem refere-se a modelos ecossistêmicos que foram investigados para respaldar os conceitos desenvolvidos pelo ciberneticista a fim de apontar indicadores. O capítulo seguinte, *A ARQUITETURA COMO SISTEMA VIÁVEL*, trata das análises de estudos de caso, sendo eles a Estratégia Sinérgica do arquiteto Buckminster Fuller, coexistente à viabilização do sistema de Beer, bem como o empreendimento contemporâneo Projeto Éden de Tim Smit e sua equipe principal.

CAPÍTULO 3 - REDES DE INTERAÇÕES E SINERGIA NO PROCESSO DE PROJETO

IMAGEM: M. C. ESCHER – ESFERA ESPIRALADA

INTRODUÇÃO

O capítulo 3 trata dos aspectos do processo de projeto ligados à Cibernética de Segunda Ordem. Várias são as contribuições de revisão da metateoria, e a formação de novas áreas e disciplinas de conhecimento.

Beer, em conjunto com demais ciberneticistas, ajudou a configurar a Cibernética de Segunda Ordem, avançando nos seguintes campos, Filosofia, Auto Governança e Governança Coletiva. A revisão da Cibernética de Segunda Ordem é indispensável para a apreensão de organizações complexas (CANTÚ, 2013).

Destaca-se nesse conjunto, a partir dos anos 1970, a contribuição do teórico da pesquisa operacional e da gestão cibernética, o britânico Anthony Stafford Beer⁸⁷ para a metateoria, contemporâneo a Gordon Pask. Para Beer, havia “[...] toda uma ciência relacionada à atribuição do próprio gerente: ORGANIZAR EFICAZMENTE. Ela é chamada de cibernética”⁸⁸ (BEER, 1985, p. i, tradução nossa). Os conceitos de Beer continuam sendo aplicados até a atualidade, sendo ministrado em faculdades administrativas e de gestão. O modelo e a estratégia desenvolvidos por ele continuam avançando em vários âmbitos por intermédio de seus discípulos como Allena Leonard, Markus Schwaninger, Angela Espinosa, Raúl Espejo, entre outros.

Os autores que servem de referência da Cibernética de Segunda Ordem, bem como os de Primeira Ordem, partiram da compreensão da adaptabilidade do cérebro, incluindo, como no caso de Anthony Stafford Beer, sistemas que abordassem a tomada de decisão (PICKERING, 2010, p. 215). A crescente interdisciplinaridade na Cibernética impulsionou o surgimento de novas disciplinas e áreas de conhecimento, como a Auto e Coletiva Governança, as quais tiveram impacto em disciplinas como a neurociência, gerenciamento cibernético, inteligência coletiva, leis, política e economia (ver diagrama de CANTÚ, 2013, Figura 31).

⁸⁷ Anthony Stafford Beer (1926-2002): Nascido na Inglaterra, Beer estudou filosofia, mas teve de interromper para incorporar o exército britânico na Segunda Guerra Mundial. Foi contratado pelo governo do Chile em 1972 para desenvolver um sistema computadorizado em tempo real para gerir a economia social, mas abandonou o projeto em 1973. Faz parte da Cibernética de Segunda Ordem (1960-1990). Foi influenciado pelos trabalhos de Norbert Wiener, Warren McCulloch e Heinz von Foerster. Trabalhou no Laboratório Biológico de Computação, sob orientação de von Foerster, com seus colegas Ross Ashby, Gordon Pask, Humberto Maturana e Francisco Varela.

⁸⁸ Do original: “[...] a whole Science having to do with the manager’s own prerogative: TO ORGANIZE EFFECTIVELY. It is called cybernetics” (BEER, 1985, p. i).

Figura 31 - Áreas de conhecimento advindas da Cibernética de Segunda Ordem

Fonte: CANTÚ, 2013. Alterada pela autora.

Para o Capítulo 3, propomos aprofundar as especificidades da Cibernética de Segunda Ordem por meio da análise de um modelo organizacional chamado Modelo de Sistema Viável (VSM), e da estratégia de solução de conflitos de nome *Syntegrity*, ambos desenvolvidos por Stafford Beer entre 1972 e 1994. O objetivo do aprofundamento do VSM é entender a estrutura de uma organização complexa através da coesão de suas partes, posto que um ecossistema também apresente uma estruturação por meio de subsistemas interconectados em rede através de sinergia de suas partes, trazendo contribuições para uma organização eficaz do todo. O objetivo de analisar o *Syntegrity* é direcionado às conexões possíveis e sua contribuição reside em elaborar propostas para soluções de conflitos para e o progresso da organização por meio de um processo colaborativo.

3.1. A REVISÃO DA CIBERNÉTICA NOS ANOS 1970

O ciberneticista inglês Gordon Pask, em seu artigo *The Architectural Relevance of Cybernetics* de 1969, interligou a Cibernética com a Arquitetura sob o

ponto de vista de sistema viáveis. Neste artigo ele cita as contribuições de Stafford Beer para a área ao dizer que:

[...] a cibernética e a arquitetura realmente desfrutam de um relacionamento muito mais íntimo; elas compartilham uma filosofia comum de arquitetura no sentido que Stafford Beer mostrou ser a filosofia da pesquisa operacional⁸⁹ (PASK, 1969, p. 494, tradução nossa).

O processo de projeto passou por várias metodologias, modelos e conceitos ao longo da história do seu desenvolvimento da computação e dos meios digitais, estando ligado ao processo produtivo e de redefinição de programas e configurações espaciais. Entre 1960 e 1970, com o surgimento da Teoria de Sistemas de Bertalanffy, a Cibernética passou para outros tipos de entendimento da observação tornando-se congruente ao processo de projeto arquitetônico.

Para Gordon Pask, o papel do arquiteto não era apenas projetar um edifício ou uma cidade, mas catalisá-los para agir de forma que pudessem evoluir (PASK, 1995, p. 7). Essa mudança de percepção, em trabalhar com evolução no processo de projeto, foi recorrente nos anos 1960, como o arquiteto e ciberneticista inglês John Hamilton Frazer⁹⁰, observou (FRAZER, 1995, p. 15), apontando as falhas para o desenvolvimento de uma metodologia que contemplasse as questões industriais anteriores aos anos 1960:

Um problema surgiu nos anos 60, quando a arquitetura começou a brincar com novos processos de design, assumindo uma forma particular de racionalização e metodologia baseada em componentes, que abrangia uma abordagem genérica, coordenação modular e uma percepção de construção como um conjunto de peças. Pois, apesar da retórica em oposição, a profissão de arquiteto - e a indústria da construção como um todo - não conseguiu aprender

⁸⁹ Do original: “[...] Cybernetics and architecture really enjoy a much more intimate relationship; they share a common philosophy of architecture in the sense that Stafford Beer has shown it to be the philosophy of operational research” (PASK, 1969, p. 494).

⁹⁰ John Hamilton Frazer (1945 -): Nascido na Inglaterra, estudou Arquitetura na Architectural Association em Londres. Ele desenvolveu atividades de pesquisa nas universidades *Architectural Association, Cambridge University, The University of Ulster* e na *Hong Kong Polytechnic University*. Trabalhou para *Gehry Technologies* como coordenador de pesquisa internacional para práticas digitais ecossistêmicas. Atualmente é professor no curso de Ciência de Projeto na Universidade de Queensland, Austrália, onde fundou o Centro de Projeto de Sistemas Urbanos Complexos. Promove a Cibernética no campo de arquitetura e projeto, bem como o uso de computadores e tecnologias para auxiliar o processo de projeto. Trabalhou conjuntamente com sua esposa, Julia Frazer, no projeto de Cedric Price chamado *Generator Project*.

com os desenvolvimentos nas indústrias de aviação, automotiva e naval⁹¹ (FRAZER, 1995, p. 15, tradução nossa).

A maneira de se projetar em arquitetura voltou-se para os processos industriais do período, porém seu avanço não foi de fato concretizado, pois nunca houve uma transição para uma industrialização da construção civil, ficando a cargo dos arquitetos, individualmente, assumirem o risco em projetar protótipos experimentais, de maneira descoordenada (FRAZER, 1995, p. 15). A indústria da construção civil não desenvolveu condições para que a fabricação de peças e o sistema estipulado pelos arquitetos prosperassem como na indústria automobilística. Dessa forma: “Os fracassos (inevitáveis) que se seguiram foram catastróficos para ambas a sociedade e a profissão de arquiteto”⁹² (FRAZER, 1995, p. 15, tradução nossa).

Para Frazer, era importante que houvesse uma mudança no modo de pensar dos processos de projeto e na forma como os arquitetos enxergavam o desenvolvimento das metodologias. Sua inquietude era que as inclinações nostálgicas trouxessem o processo de projeto para o obsoleto, pois ele considerava que “Os arquétipos do passado não refletem as demandas mutáveis da sociedade, as realidades da indústria da construção ou a necessidade urgente de edifícios ambientalmente responsáveis”⁹³ (FRAZER, 1995, p. 15, tradução nossa).

Em seu livro, *An Evolutionary Architecture* de 1995, Frazer enaltece a relevância de outras propostas e visões para o processamento de informações e organização, defendendo assim a finalidade de que “O objetivo de uma arquitetura evolucionária é atingir, no ambiente construído, o comportamento simbiótico e o equilíbrio metabólico que são característicos do ambiente natural”⁹⁴ (FRAZER, 1995, p. 9, tradução nossa). Assim, Frazer propôs voltar o processo de projeto arquitetônico para questões da biologia, tais como a simbiose e o equilíbrio trazendo

⁹¹ Do original: “A problem arose in the sixties when architecture started toying with new design processes, taking up a particular form of component-based rationalization and methodology which embraced a generic approach, modular coordination and a perception of construction as a kit of parts. For despite rhetoric to the contrary, the architectural profession - and the construction industry as a whole - have failed to learn from developments in the aircraft, automotive and shipbuilding industries” (FRAZER, 1995, p. 15).

⁹² Do original: “The ensuing (inevitable) failures have been catastrophic for both society and the architectural profession” (FRAZER, 1995, p. 15).

⁹³ Do original: “The archetypes of the past do not reflect the changing demands of society, the realities of the construction industry, or the pressing need for environmentally responsible buildings” (FRAZER, 1995, p. 15).

⁹⁴ Do original: “The aim of an evolutionary architecture is to achieve in the built environment the symbiotic behavior and metabolic balance that are characteristic of the natural environment” (FRAZER, 1995, p. 9).

para o planejamento, temáticas como sistemas naturais e processos evolutivos incorporados à arquitetura.

Para Frazer, isso poderia ser encontrado por meio da convergência entre arquitetura e cibernética, incluindo preocupações inerentes ao período como: flexibilidade, impermanência, pré-fabricação, robótica e um maior entendimento dos recursos de energia, matéria e cultura globais, no qual “Os sistemas implícitos que pensavam em arquitetura inevitavelmente passaram a adotar a cibernética, e a cibernética na arquitetura inevitavelmente passou a abraçar Gordon Pask”⁹⁵ (FRAZER, 2007, p. 43, tradução nossa). Gordon Pask, na época era docente na Architectural Association em Londres e trabalhava como consultor em diversos projetos com o arquiteto inglês Cedric Price, o que explica a ampla divulgação das suas teorias, como a teoria da conversação, que mantém sua importância na área de teoria de projeto arquitetônico até hoje no contexto inglês. Nas determinações de Frazer, o tema da ecologia apresenta-se com grande relevância para o entendimento das ações humanas, no sentido em que:

Ecosistemas naturais têm estruturas biológicas complexas: eles reciclam seu material, permitem mudanças e adaptações, e fazem uso eficiente da energia ambiental. Por outro lado, a maioria dos ambientes construídos pelo homem tem estruturas incompletas e simples [...]. Uma abordagem ecológica da arquitetura não implica necessariamente em replicar ecossistemas naturais, mas os princípios gerais de interação com o meio ambiente são diretamente aplicáveis⁹⁶ (FRAZER, 1995, p. 16, tradução nossa).

O autor considerava que o ambiente construído não apresentava condições complexas como a natureza, mas uma simples estrutura incompleta. No entanto, o mesmo não defende a reprodução dos ecossistemas naturais, mas sim a forma como os agentes que fazem parte do mesmo interagem entre si e com o ambiente.

Embora, na década de 1970, tenham ocorrido mudanças na conscientização em relação às ameaças aos recursos naturais, e em relação ao esforço de arquitetos e clientes responsáveis, não houve uma teoria que contemplasse a

⁹⁵ Do original: “The implied systems thinking in architecture inevitably came to embrace cybernetics and cybernetics in architecture inevitably came to embrace Gordon Pask” (FRAZER, 2007, p. 43).

⁹⁶ Do original: “Natural ecosystems have complex biological structures: they recycle their material, permit change and adaptation, and make efficient use of ambient energy. By contrast, most man-made and built environments have incomplete and simple structures [...]. An ecological approach to architecture does not necessarily imply replicating natural ecosystems, but the general principles of interaction with the environment are directly applicable” (FRAZER, 1995, p. 16)

arquitetura ecológica. Frazer propôs que “A solução para nossos problemas ambientais pode estar em relacionar a arquitetura com a nova compreensão holística da estrutura da natureza”⁹⁷ (FRAZER, 1995, p. 16, tradução nossa). Pask e Beer foram contemporâneos, havendo trabalhado juntos no *Biological Computer Laboratory*, do ciberneticista Heinz von Foerster. Portanto, Beer e Pask tiveram influências parecidas e buscaram inserir em seus trabalhos aspectos baseados nas organizações biológicas. Tornando, portanto, relevantes os estudos dos modelos sobre interações entre subsistemas e os estudos sobre as estruturas de comunidades ecológicas. Por isso, decidimos dentro do contexto da dissertação, estudar teorias de um ciberneticista menos conhecido no âmbito arquitetônico, chamado Stafford Beer:

[...] da mesma forma, abelhas, formigas, cupins, foram sistematicamente considerados como componentes de sistemas auto organizáveis, e várias máquinas de ‘brainstorming’ foram projetadas tanto por Pask quanto por mim⁹⁸ (BEER apud PICKERING, 2010, p. 232, tradução nossa).

Tanto Beer quanto Pask defenderam a busca por padrões biológicos na construção de modelos cibernéticos frente às características organizacionais.

Retomando Frazer, a proposta para um modelo de processo de projeto prescrevia que:

Nosso modelo derivará ordem de seu ambiente e será controlado por uma relação simbiótica com seus habitantes e aquele ambiente. Ele conhece as instruções codificadas para seu próprio desenvolvimento e, portanto, em um sentido limitado, consciente. [...] Todas as partes do modelo cooperam e, nesse sentido, ele pode ser considerado como um organismo, mas só existirá plenamente como tal se for um membro de um sistema de organismo em evolução interagindo entre si, assim como com o meio ambiente⁹⁹ (FRAZER, 1995, p. 103, tradução nossa).

⁹⁷ Do original: “The solution to our environmental problems may lie in relating architecture to the new holistic understanding of the structure of nature” (FRAZER, 1995, p. 16).

⁹⁸ Do original: “By the same token, bees, ants, termites, have all been systematically considered as components of self-organizing systems, and various ‘brainstorming’ machines have been designed by both Pask and myself” (PICKERING, 2010, p. 232).

⁹⁹ Do original: “Our model will derive order from its environment and be controlled by a symbiotic relationship with its inhabitants and that environment. It knows the coded instructions for its own development and is thus, in a limited sense, conscious. [...] All the parts of the model cooperate and in that sense it can be considered as an organism, but it will only fully exist as such if it is a member of an evolving system of organism interacting with each other as well as with the environment” (FRAZER, 1995, p. 103).

A proposta do Modelo de Sistema Viável (*VSM – Viable System Model*), desenvolvida por Stafford Beer, buscou estabelecer uma estrutura de subsistemas que interagem entre si, mas também com o ambiente. Os conceitos foram construídos para que uma organização fosse simbiótica e evolutiva de acordo com as características dos ecossistemas naturais e suas interações. Além do *VSM*, Beer desenvolveu formas de interações sinérgicas entre agentes participantes do processo como forma de evoluir as condições da coordenação.

3.2. CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM: A VIABILIDADE DO SISTEMA

O Modelo de Sistema Viável, desenvolvido pelo ciberneticista inglês Beer, foi mencionado pela primeira vez em 1972, em seu livro *Brain of the Firm*. Beer se utilizou dos princípios desenvolvidos por Norbert Wiener e pelas Leis de Ross Ashby sobre variedade de requisito e homeostase: “Sempre me pareceu que a Lei de Ashby está para a ciência do gerenciamento como as Leis de Newton estão para a física; ela é central para um entendimento coerente do controle da complexidade”¹⁰⁰ (BEER, 1984, p. 11, tradução nossa).

De acordo com Javier Livas Cantú (2013), Beer foi importante para a consolidação da Cibernética a respeito de Auto Governança e Governança Coletiva e para a elucidação de quais procedimentos poderiam ser usados de forma a transformar a alta variedade de problemas em uma rede participativa para um sistema *bottom up*¹⁰¹. Em sua proposta, a construção das organizações convencionais se dá de maneira piramidal e hierárquica, como visto na margem direita superior da Figura 31. O autor a apresenta como um sistema reducionista e ineficiente, frente à instabilidade existente e à sociedade, com base em baixa inteligência. As propostas cibernéticas de Beer caminhavam por outro tipo de estrutura, como pode ser visto na margem direita inferior da Figura 32, tendo como base uma alta variedade de informações administrada de forma descentralizada, por

¹⁰⁰ Do original: “It has always seemed to me that Ashby's Law stands to management science as Newton's Laws stand to physics; it is central to a coherent account of complexity control” (BEER, 1984, p. 11).

¹⁰¹ *Bottom up*: de baixo para cima, quando uma estrutura de sistema é construída sem uma hierarquia piramidal e reducionista, e sim horizontal.

meio de sistemas de redes participativas. Considerando as propostas organizacionais arquitetônicas, notamos que processos de projeto convencionais se assemelham à primeira base, o que torna importante a observação das propostas de Beer para uma reestruturação dos mesmos, sob aspectos cibernéticos, como pode ser observado na adoção do conceito BIM (*Building Information Modeling*).

Fonte: CANTÚ, 2013.

A partir da neurociência e dos conceitos desenvolvidos por Ashby, a proposta de cibernética gerencial de Beer configurou-se no Modelo de Sistema Viável (*Viable System Model – VSM*, CANTÚ, 2013).

Beer se propôs a pensar em outras formas de organização, mas encontrou resistência inicial na década de 1980, quando propôs uma revisão dos modelos padrões da época:

Ideias aventureiras logo se tornam restritas pelo fato observado de que seus proponentes não conseguem chegar a uma conclusão propriamente dita, ao que parece, e as velhas ideias prevalecem. Não é porque elas são bem sucedidas: elas não são, e o mundo está numa bagunça pior provando isso. Portanto, eu tive culpa em chamar a atenção apenas para a mudança tecnológica, por mais importante que ela seja: eu deveria ter mencionado as mudanças social e política também. Mas não vejo razão para não continuar como antes

- na verdade, a questão (até eu interrompê-la novamente) é a mais aguda. Aqui está ela¹⁰² (BEER, 1981, p. 5, tradução nossa).

Embora perceba que houve transformações, “Mudança – mudança tecnológica - está acontecendo ao nosso redor”¹⁰³ (BEER, 1981, p. 5, tradução nossa), nos deparamos, nos textos de Beer, com a frase “[...] esta é a forma como fazemos aqui”¹⁰⁴ (BEER, 1981, p. 5, tradução nossa), referente à resistência das empresas de gestão em que Beer tentou aplicar o modelo. Esse contra argumento deu forças para que ele buscasse ainda mais essas mudanças.

Beer estudou as mudanças tecnológicas da humanidade a década de 1970, enfocando as tomadas de decisão necessárias, das quais ele participou. Ele notou que em se tratando de pessoas que buscam por transformações, estas, bem como ele, “[...] não estão aprimorando uma tecnologia antiga, mas abraçando a novidade. Não estão melhorando o negócio que conhecem e amam, estão planejando um novo negócio com características desconhecidas”¹⁰⁵ (BEER, 1981, p. 11, tradução nossa). Será possível, no texto que se segue, observar a progressão das ideias que levaram Beer a desenvolver um paradigma capaz de ser utilizado para a construção de qualquer formulação organizacional, com recursividades, de maneira a testar a viabilidade do sistema e a interlocução por meio de mecanismos homeostáticos.

Vista a importância da viabilização do sistema, como organização composta por subsistemas e comunicações para tornar o processo mais fluido, precisamos compreender teorias e procedimentos relevantes para o entendimento da contextualização, dentre elas: o Sistema Nervoso; o Modelo de Sistema Viável como meio de ilustrar as práticas das qualidades de comunicação das partes que o compõe, incluindo os cinco subsistemas que o estruturam e suas características; e, o *Team Syntegrity*, que foi desenvolvido para ajudar em discussões entre agentes participantes do VSM de forma colaborativa.

¹⁰² Do original: “Adventurous ideas soon become constrained by the observed fact that their proponents cannot think them through to a proper conclusion, it would seem, and the old ideas prevail. It is not because they are successfully: they are not, and the world is in a worse mess to prove it. Therefore was I at fault in drawing attention only to technological change, important as that is: I should have mentioned social and political change as well. But I see no reason not to continue as I did before - indeed the argument (until I shall interrupt it again) is the more poignant. Here it is” (BEER, 1981, p. 5).

¹⁰³ Do original: “Change - technological change - is happening all around us” (BEER, 1981, p. 5).

¹⁰⁴ Do original: “[...] this is how we do it here” (BEER, 1981, p. 5).

¹⁰⁵ Do original: “They are not enhancing an old technology but embracing novelty. They are not improving the business they have known and loved, they are devising a new business of unknown characteristics” (BEER, 1981, p. 11).

As propostas de Beer são até hoje de extrema relevância, posto que não permanecem apenas no campo das ideias, mas foram implantadas e verificadas em contextos organizacionais concretos. Um exemplo importante de seu uso foi relatado no livro *A Platform for Change* (BEER, 1975), que trata da implantação de um sistema de comunicações e controle aplicado no governo chileno do então presidente Salvador Allende, entre 1972 e 1973, também explanados na segunda edição de seu livro *Brain of the Firm* (BEER, 1981). Beer desenvolveu, em conjunto com pesquisadores e profissionais chilenos e britânicos, um sistema de comunicação em tempo real para a distribuição de matérias-primas e produtos finais das fábricas, controlados por uma sala de comando nacional, que se encontrava no palacete da presidência (Figura 33 e 34).

Figura 33 - Sala de Operações do Projeto Cybersyn de Santiago, Chile

Fonte: MINGLE, 2016.

O projeto chamado Cybersyn, que não foi colocado em funcionamento por causa do *coup d'état* em 1973, foi muito relevante para o avanço das propostas e revisões de Beer ao longo do desenvolvimento do Modelo de Sistema Viável. Embora o sistema de operações não tenha sido efetivado apropriadamente, a sala

de comando possuía os 5 subsistemas expostos e o sistema de comunicações em tempo real para as tomadas de decisões.

Figura 34 – Planta da Sala de Operações do Projeto Cybersyn

Fonte: MINGLE, 2016, traduzido pela autora.

O método *Team Syntegrity* surgiu em 1994 após o *VSM*, cobrindo suas lacunas e visando a organização individual e dos grupos de trabalho, através de protocolos. Beer faleceu em 2002 e atualmente sua companheira Allena Leonard ainda desenvolve atividades ligadas a esse grupo, possibilitando a contínua evolução do modelo de Beer.

Beer foi de extrema relevância para a pesquisa operacional e para a organização de sistemas por considerá-los colaborativos e participativos, harmoniosos e sem hierarquias, sendo estudado até hoje nas faculdades de economia e administração de universidades de renome.

O PAPEL DO SISTEMA NERVOSO COMO MODELO DE GESTÃO

Stafford Beer, ciberneticista formado em filosofia e psicologia, se interessou pelo funcionamento do cérebro, bem como Ashby. Contudo, seu enfoque foi direcionado ao cérebro adaptativo e suas características fisiológicas frente às mudanças de pensamento da época. Isso levou ao surgimento de conceitos que alteraram o entendimento da observação dos processos como a *Teoria Geral de Sistemas* (BERTALANFFY, 1969) (PICKERING, 2010, p. 215). Para tanto, desenvolveu estudos a respeito do sistema nervoso humano e conduziu a cibernética gerencial para outro paradigma ao elaborar o Modelo de Sistema Viável.

O Sistema Nervoso é um sistema complexo, que se caracteriza pela transmissão de informações, entre a percepção dos estímulos externos e o cérebro, ele não produz informações novas, não julga e não as pondera:

Sistema nervoso é o conjunto formado por ligações de nervos e órgãos do corpo, com a função de captar informações, mensagens e demais estímulos externos, assim como também respondê-los, além de ser o responsável por comandar a execução de todos os movimentos do corpo, sejam eles voluntários ou involuntários. Entre as principais funções do sistema nervoso está o controle e comando de todos os outros sistemas fisiológicos do corpo, como o respiratório, o cardíaco, o digestivo e etc. Graças ao sistema nervoso as pessoas são capazes de identificar, interpretar e 'armazenar' todos os estímulos externos (cheiros, gostos, sons, toques, imagens e etc) e interno (sensação de fome, por exemplo) que recebem (SIGNIFICADOS, 2019).

O Sistema Nervoso Humano é composto pelo Sistema Nervoso Central, que compreende o cérebro, o cerebelo, o tronco encefálico e a medula espinhal; e, o Sistema Nervoso Periférico, que abarca os nervos cranianos e raquidianos. O primeiro é responsável pelo controle das ações no corpo frente às informações que este recebe do mesmo, já o segundo é responsável por receber as informações e transmiti-las, sejam sensoriais (quando captam os estímulos externo), ou motoras (quando reagem através de respostas). Na figura 35, encontra-se um esquema do Sistema Nervoso Humano e suas partes com funções que realizam em relação à percepção de estímulos externos por meio de sensores (aferentes) e suas respostas motoras (eferentes).

Figura 35 - Sistema Nervoso Humano

Fonte: Desenhado pela autora.

Beer construiu o *VSM* baseado no sistema nervoso humano, organizando-o por meio de subsistemas que transmitiam informações aos níveis superiores, assim como o sistema nervoso. A ideia evoluiu para um modelo aplicável em gestão de processos empresariais.

O modelo composto por subsistemas e as interações entre eles, caracteriza-se como uma inovação na percepção de hierarquias e colaborações que poderia ser usada, por exemplo, dentro de uma empresa. O modelo se apresenta de maneira bastante flexível, podendo ser aplicado em diversas conformações sociais. Beer se apropriou dos conceitos de Ashby a respeito da homeostase (BEER, 1981, p. 142), e de Maturana e Varela sobre autopoiese (BEER, 1979, p. 405), respeitando as condições de auto-organização que residem nos conceitos cibernéticos. Além dessas considerações, Beer associou as partes que compõe o sistema e a relação do mesmo com o ambiente em que se insere, denotando, dessa forma, uma extrapolação dos limites fisiológicos.

Através da publicação de três livros a respeito do *VSM*, *Brain of the firm* (BEER, 1972 com 2ed em 1981), *The Heart of enterprise* (BEER, 1979), e

Diagnosing the system for organizations (BEER, 1985), Beer construiu um pensamento sistêmico para a estruturação de coordenações sociais auto organizadas.

Seu primeiro livro, *Brain of the Firm*, foi publicado em 1972, sendo revisado e publicado em uma segunda edição em 1981, após quase 10 anos de reflexão e experimentos com o VSM. Na primeira edição, dividida em três partes, Beer explorou os conceitos de complexidade dos sistemas, seus componentes e hierarquias de controle, seguido das condições fisiológicas do sistema nervoso, controle e autonomia, e finalmente, da estrutura do modelo e aplicações do mesmo. Na segunda edição, Beer acrescenta uma quarta parte, na qual descreve as aplicações realizadas no Chile, em Santiago, durante a presidência de Salvador Allende, entre 1972 e 1973. Beer demorou em rever *Brain of the Firm* por dois motivos, pela dificuldade em entender todo o processo ocorrido em Santiago, e porque estava produzindo os livros *Platform for Change* (BEER, 1975) e *The Heart of Enterprise* (BEER, 1979).

Em *The Heart of the Enterprise*, publicado em 1979, Beer explicou o uso da palavra *enterprise*, que significa que o modelo pode ser incorporado a qualquer tipo de organização e para ele, esta palavra, incluiria todas as formas; já a palavra *heart*, foi usada para salientar o coração da empresa, pois seria aquilo que traria uma organização efetiva para um sistema viável (BEER, 1979, p. xii). Dividido em quatro partes, o livro foi encerrado com o modelo inalterado, no entanto, os conceitos por trás do modelo foram fortalecidos, incluindo definições oriundas de questões tratadas na biologia como controle, autopoiesis, homeostase, autonomia, entre outras.

O livro *Diagnosing the system for organizations*, publicado em 1985, fechou um ciclo de aproximadamente 15 anos sobre a construção do VSM, atualizado nesta publicação. É um guia para a estruturação de uma organização, como dito pelo próprio Beer: “PARA ORGANIZAR EFETIVAMENTE” (BEER, 1985, p. i, tradução nossa), sob as luzes da ciência cibernética, permitindo que a organização possa ser projetada e diagnosticada. Dividido em oito partes, que explicam o VSM, inclui ainda um apêndice ao final, no qual se encontram organogramas que podem ser copiados para serem preenchidos com informações da sua própria organização.

Beer utilizou o sistema nervoso humano em seus estudos porque além de representar aproximação maior das organizações sistêmicas e dos conceitos cibernéticos a serem aplicados em empresas, possui grande riqueza de complexidade: “[...] o corpo humano é talvez o sistema viável mais rico e flexível de todos. Além disso, há uma vantagem extra: todos nós temos corpos e inevitavelmente temos uma boa percepção de suas características”¹⁰⁶ (BEER, 1981, p. 75, tradução nossa).

Embora tenha escolhido como modelo o funcionamento de partes de um corpo humano, compreendeu, no entanto, que a recursividade, ou seja, a repetição dos padrões vai desde o micro até o macrocosmo:

Em qualquer sistema natural, quer falemos de populações animais ou do funcionamento interno de algum organismo vivo, a função de controle está disseminada através da arquitetura do sistema. Não é uma coisa identificável, mas sua existência de alguma forma é inferida através do comportamento do sistema. Além disso, o controlador cresce com o sistema e, se olharmos para trás no tempo, vemos que o controlador também evoluiu com o sistema¹⁰⁷ (BEER, 1981, p. 25, tradução nossa).

O entendimento dessa recursividade, e também do processo evolutivo, trouxe ao sistema organizacional questões biológicas, incluindo uma aproximação do modelo a características ecológicas:

[...] segundo Beer, os sistemas biológicos podem resolver esses problemas que estão além da nossa capacidade cognitiva. Eles podem se adaptar a flutuações e mudanças imprevisíveis. A lagoa sobrevive. Nossos corpos mantêm nossas temperaturas próximas do constante, não importa o que comemos, não importa o que fazemos, em todos os tipos de ambientes físicos. Parece mais do que provável que, se recebêssemos o controle consciente de todos os parâmetros que afetam nosso meio interno, nossas habilidades cognitivas não se igualariam à tarefa de manter nossas variáveis essenciais dentro dos limites e morreríamos rapidamente. Este, então, é o sentido em que Beer pensava que os ecossistemas são mais inteligentes do que nós - não em suas capacidades cognitivas representacionais, que se

¹⁰⁶ Do original: “[...] the human body is perhaps the richest and most flexible viable system of all. Besides, there is an extra advantage: all of us have bodies and inevitable we have a good deal of insight into their characteristics” (BEER, 1981, p. 75).

¹⁰⁷ Do original: “In any natural system, whether we speak of animal populations or the inner workings of some living organism, the control function is spread through the architecture of the system. It is not an identifiable thing at all, but its existence in some form is inferred from the system's behaviour. The controller moreover grows with the system, and, if we look back through time, we see that the controller evolved with the system too” (BEER, 1981, p. 25).

pode pensar serem inexistentes, mas em sua capacidade performativa de resolver problemas que superam nossas capacidades cognitivas¹⁰⁸ (PICKERING, 2010, p. 237, tradução nossa).

Dessa forma, o autor ressalta que o entendimento da estrutura e da capacidade de adaptação de um ecossistema é necessário para construir uma organização viável e eficiente. O modelo de gestão de uma empresa que adota o VSM, nos ideais de Beer como sistema viável, deve refletir a harmonia dos processos biológicos, pela sua complexidade, pelo controle, pelos agentes e pela estruturação em subsistemas que a compõe: “A empresa, que é a entidade controlada por um gerente, é um bom exemplo de um sistema de alta complexidade no qual a entrada e a saída são, elas próprias subsistemas de alta variedade”¹⁰⁹ (BEER, 1981, p. 77, tradução nossa). Para tanto, nos pensamentos de Beer a gestão de atividades apresenta uma complexidade próxima a do funcionamento de um ecossistema. Além dessa conotação, Beer explorou as questões relacionadas ao fluxo de informações e como este ocorre entre os diferentes subsistemas que fazem parte do modelo:

Hoje, no entanto, o controle em um negócio é muito mais do que a interação de seus gerentes seniores. Trata-se de informações de extensão e complexidade além das capacidades que estas pessoas mais experientes têm de absorvê-las e interpretá-las. Portanto, tem a ver com a estrutura dos fluxos de informação, com o método de manipulação de informações, com técnicas de redução de informações e assim por diante¹¹⁰ (BEER, 1981, p. 80, tradução nossa).

¹⁰⁸ Do original: “[...] according to Beer, biological systems can solve these problems that are beyond our cognitive capacity. They can adapt to unforeseeable fluctuations and changes. The pond survives. Our bodies maintain our temperatures close to constant whatever we eat, whatever we do, in all sorts of physical environments. It seems more than likely that if we were given conscious control over all the parameters that bear on our internal milieu, our cognitive abilities would not prove equal to the task of maintaining our essential variables within bounds and we would quickly die. This, then, is the sense in which Beer thought that ecosystems are smarter than we are—not in their representational cognitive abilities, which one might think are nonexistent, but in their performative ability to solve problems that exceed our cognitive ones” (PICKERING, 2010, p. 237).

¹⁰⁹ Do original: “The firm, which is the entity a manager controls, is a good example of a system of high complexity in which the input and the output are themselves high-variety sub-system” (BEER, 1981, p. 77).

¹¹⁰ Do original: “Today, however, control in a business is something much more than the interaction of its senior managers. It has to do with information of an extent and complexity beyond the capacities of those senior people to absorb and interpret it. Therefore it has to do with the structure of information flows, with the method of information handling, with techniques for information reduction, and so forth” (BEER, 1981, p. 80).

Para Beer, portanto, é importante que haja uma estrutura capaz de ter fluxo de informações, empregada de maneira a reduzir a quantidade de informações, eliminando as questões resolvidas anteriormente e passando para o próximo nível hierárquico aquelas não passíveis de solução nos níveis decorridos.

MODELO DE SISTEMA VIÁVEL (VSM)

Ao longo de dezesseis anos, Beer aperfeiçoou o modelo para ser aplicável em qualquer sistema de organização. A Figura 36 apresenta a versão de 1972, reeditado em 1981, porém sem alterações do modelo. O VSM foi estruturado a partir da organização do sistema nervoso humano, como já mencionado anteriormente, apresentando disposição hierárquica e atribuições funcionais equivalentes ao sistema nervoso, de forma a estruturar a organização de acordo com essas conotações (BEER, 1981, p. 130-131).

Figura 36 – Sistema Nervoso Humano e Modelo de Sistema Viável

Legenda – À esquerda: Sistema Nervoso Humano e sua organização. À direita: Modelo de Sistema Viável do Beer de 1972, reeditado em 1981, composto por 5 subsistemas.

Fonte: BEER, 1981, p. 130-131.

O VSM se estrutura da seguinte forma: **5 subsistemas** são organizados para configurar uma hierarquia de coordenação do processo; o **subsistema 1** possui

duas partes chamadas operação divisional (atividade) e diretoria divisional (auto gerenciamento) (BEER, 1981, p. 170); o **subsistema 2**, chamado regulação local, é responsável pela coordenação das duas partes do subsistema 1 e do envio de informações de todos os níveis anteriores para o centro de regulação da corporação (BEER, 1981, p. 173); o **subsistema 3**, chamado diretoria da operação, cuida da auto regulação da operação e regulação autonômica do sistema configurado pelo subsistema 1 (operação, somada a sua comunicação com o meio ambiente externo, e auto gerenciamento), pelo subsistema 2 (regulação local e equilíbrio de oscilações) e pelo próprio subsistema 3 (auto organização e homeostase dos subsistemas 1 e 2 por meio do recebimento de informações do subsistema 2 e envio de informações pela auditoria do subsistema 3) (BEER, 1981, p. 174); o **subsistema 4** é o que recebe informações provenientes do subsistema 3 e com estratégias para se entender a forma como a empresa vai se comunicar com o meio ambiente externo em um futuro (esse futuro remete ao *output* da empresa), este subsistema realiza simulações de planejamento que ajustarão o curso dos demais subsistemas para o crescimento e amadurecimento da empresa (BEER, 1981, p. 194); o **subsistema 5** é configurado pelas pessoas que participam da diretoria do gerenciamento, chamado por Beer de ‘o múltiplo-nó’¹¹¹ no qual há uma estrutura de gerenciamento, uma instância superior, que gerencia a opinião de três outras instâncias, que tem três outras instâncias, caracterizando uma estrutura total de treze instâncias superiores (BEER, 1981, p. 201).

O VSM foi revisado em 1985, mantendo características semelhantes ao modelo de 1972, entretanto com algumas atribuições alteradas, como é possível observar na Figura 37 a seguir. Apresenta-se com maior complexidade, devida à demonstração de recursividade do modelo em uma micro escala do subsistema 1, composto pela **operação** (recursividade do subsistema 1 e 2) e pelo **gerenciamento** (recursividade do sistema 3, 4 e 5) (BEER, 1985, p. 136).

¹¹¹ Do original: “the multinode” (BEER, 1981, p. 201).

Figura 37 - Modelo de Sistema Viável em 1985

Legenda – VSM do Beer com seus 5 subsistemas após a revisão e atualização em 1985.
 Fonte: BEER, 1985, p. 136, alterado pela autora.

A seguir encontra-se um esquema (Figura 38), com o objetivo de entender o VSM de maneira geral na versão de 1981, bem como a relação com o Sistema Nervoso Humano. A entrada de informações e recepção de estímulos externos são captadas por nervos aferentes (sensores), e as respostas são deflagradas por meio de nervos eferentes (motores), esse processo ocorre tanto no cérebro como no subsistema 5, o qual recebe a informação (aferentes – sensores) de todos os níveis anteriores e as transforma em ação (eferentes – motores) retornando a esses mesmos níveis. Beer considerou essa conexão sensorial-motora como processo homeostático, presente também na comunicação entre o subsistema 3 e 4.

Figura 38 - Modelo de Sistema Viável em 1981

Fonte: BEER, 1981, p. 170, 173, 177, 182, imagem redesenhada pela autora.

Para inferir a eficiência de seu modelo, bem como a viabilidade do mesmo, Beer propôs, junto ao VSM, uma avaliação qualitativa em função da realização dos objetivos através de uma fórmula, como pode ser visto na Figura 39, por meio de uma análise quantitativa (BEER, 1981, p. 164).

Figura 39 - Sistema de classificação do modelo

Fonte: BEER, 1981, p. 164, imagem traduzida pela autora.

Beer compreendeu a importância em se validar o *VSM*, e assim estipulou medidas de realização do sistema através de uma investigação das condições atuais e futuras que este poderia configurar. Dessa forma, a *performance* do sistema relaciona o planejamento da potencialidade do mesmo em função da programação da atualidade. Caso o sistema se revele capaz de evoluir e o fizer através do *VSM*, é possível medir o desempenho do mesmo.

Levando em consideração a imagem anterior, se entende que o *VSM* possui (BEER, 1981, p. 163):

- i) Atualidade: o que estamos gerenciando no momento, com recursos existentes, sob restrições existentes;
- ii) Capacidade: o que poderíamos estar fazendo no momento, com recursos existentes, sob restrições existentes, se trabalhássemos para isso;
- iii) Potencialidade: o que deveríamos estar fazendo, desenvolvendo nossos recursos e removendo restrições, embora ainda que operando dentro dos limites conhecidos como viáveis.

Para aprimorar a organização, deve-se, de acordo com Beer, planejar o futuro, e isto pode ser feito de três formas diferentes. O primeiro planejamento, baseado na atualidade, foi chamado de **programação**, o qual aceita as deficiências da situação e não admite que algo possa ser feito brevemente, atuando como um truque tático. O segundo, baseado na capacidade, move a organização para um **planejamento genuíno**, posto que este deve ser configurado para prever novos objetivos e tentar alcançá-los, por isso chamou-se planejamento por objetivos, o qual atua como estratégia. O terceiro, baseado na potencialidade, trata-se do **planejamento normativo**, o qual define como alvo a potencialidade, trazendo riscos, mas também benefícios importantes e decisivos.

Em termos quantitativos, potencialidade é melhor que a capacidade, que por sua vez, é melhor que a atualidade. Em relação ao lucro, potencialidade significa mais lucro que capacidade, e consequentemente mais lucro que a atualidade. Em termos de trabalho, potencialidade necessita menos homens que a capacidade e que a atualidade. Quanto maiores os valores de latência e produtividade, maior será a *performance*, para tanto, a organização deveria planejar sua estrutura de forma a aprimorar suas realizações (BEER, 1981, p. 164-165).

SUBSISTEMAS 1, 2 E 3

Para o entendimento dos subsistemas que fazem parte do *VSM* de Beer, está sendo levado em consideração o nível de detalhamento dos processos de informações e a rede de comunicação existente no modelo inicial, conforme apresentado e revisado por Beer (1979 e 1981) – Figura 40.

Figura 40 - Subsistema 1, 2 e 3 em 1981

Fonte: BEER, 1981, p. 170, 173, 177, imagem redesenhada pela autora.

Os subsistemas 1 (Vinho e Vermelho), 2 (Laranja e Laranja Claro) e 3 (Verde e Verde Claro) estão conectados em uma rede configurada como processo de informações que remonta ao segmento da operação divisional do VSM. Esse segmento é estruturado pela operação divisional (O.D) e diretoria divisional (D.D.) (subsistema 1), pela regulação local (R.L.) e centro regulatório da corporação (CRC) (subsistema 2) e pela diretoria de operação divisional (D.O.D) e auditoria (A.) (subsistema 3).

O Subsistema 1, composto tanto pelas atividades operacionais quanto pelo autogerenciamento das mesmas, pode ser comparado ao Sistema Nervoso Humano, com suas atividades remetendo aos órgãos do corpo humano, que são partes que, separadas recebem e reagem os estímulos externos, mas que além disso se comunicam entre si, criando uma unidade funcional. Seu autogerenciamento remete-se à medula espinhal, capaz de responder a esses estímulos por meio do subsistema 2, pois dela saem os nervos raquidianos que são responsáveis por receber estímulos sensoriais e responder motoramente enviando impulsos aos músculos e gânglios nervosos. O subsistema 2 se refere à cadeia de gânglios nervosos, associada à medula espinhal, que compõe o sistema simpático, o qual está envolvido com a liberação de ‘adrenalina’ no corpo para estimular processos vitais, quando necessário. O subsistema 3, a direção de operações divisionais, faz parte tanto do segmento composto pelos subsistemas 1, 2 e 3, quanto do gerenciamento do próprio sistema. Portanto, a função do subsistema 3 é bastante importante, pois equivale ao tronco encefálico que funciona como uma ponte da qual saem os nervos cranianos que transmitem mensagens sensoriais e motoras para o pescoço e cabeça, bem como para a medula espinhal. Além dessa importância, o subsistema 3 atua como o sistema parassimpático, que contrapõe o simpático na busca pelo equilíbrio. A função do sistema parassimpático (auditoria), que também faz parte do subsistema 3, é ‘acalmar’ o sistema liberando ‘acetilcolina’, a qual atuaria diretamente no subsistema 1, ou seja, nas atividades operacionais.

As incumbências desse segmento serão explanadas a seguir, podendo-se observar a figura 40 para o entendimento visual das mesmas. A operação divisional 1.1 (vermelho) recebe informações, ou estímulos, externos ao sistema, os processa e realiza a transdução sensorial (ícone 1), ou seja, codifica a realidade para transferir ao sistema como informações compreensíveis pelo mesmo. Com isso, temos a sinapse de entrada (ícone 2), que transmite as informações com

determinada intensidade para a regulação local, ou seja, o subsistema 2 (laranja). Na regulação local 2.1, há um monitor de realização (ícone 3), o qual calcula, classifica e filtra os índices das atividades operacionais, enviando dados para dois elementos, o primeiro elemento se encontra ainda no subsistema 2 e é responsável pela retransmissão das informações (ícone 3A) para as outras operações divisionais, ou seja, a operação divisional 1.2; o segundo elemento, que se encontra na diretoria da operação 1.1 (vermelho claro), tem a função diretora que irá responder (ícone 4) à operação divisional 1.1, endossando a rotina e/ou iniciando uma ação especial. Essa informação é passada à regulação local 2.1 novamente, que agora realiza o planejamento estratégico e uma programação tática (ícone 5) que pode, primeiro, retransmitir as informações (ícone 5A) para o centro regulatório da corporação (laranja claro), e em segundo lugar, encaminhá-la à operação divisional 1.1 por meio de uma sinapse de saída (ícone 6) programando a transmissão. Essa informação é processada na operação divisional 1.1 por meio de transdução motora (ícone 7), que determina a ação a ser realizada pelo mesmo.

Na diretoria operacional há chaves para um sistema corporativo, no qual, A) tem função diretora vinculada ao recebimento de instruções corporativas superiores, ou seja, demandas provenientes do subsistema 3, provenientes do subsistema 4 e anteriormente do subsistema 5; B) com função diretora vinculada ao relato de informações que serão enviadas ao subsistema 3, que reportará ao subsistema 4 e assim por diante; e, C) com função de planejamento normativo, que interliga as funções corporativas recebidas em A, os relatórios de B e as respostas de subsistema 4.

Já o subsistema 3 (verde), possui uma máquina homeostática composta pelos ícones P-Q-R-S, que controla o segmento por meio do sistema simpático (controle regulatório da corporação – laranja claro) e do parassimpático (auditoria – verde claro). A máquina recebe informações filtradas do centro regulatório e determina a ação a ser realizada, para tanto, o ícone P interroga a operação divisional 1.1, recebendo as respostas do mesmo através do ícone R. A conexão R-P filtra informações que são encaminhadas até o nível de conselho e a conexão Q-S filtra as informações encaminhadas às diretorias divisionais. Além dessas funções, o subsistema tem um filtro de excitação (ícone FE 1) que leva, ao nível de conselho, questões pontuais que possam trazer algum perigo ao sistema.

Figura 41 - Subsistemas 1, 2 e 3 em 1985

Fonte: BEER, 1985, p. 136, imagem alterada pela autora.

Atualizando o modelo, Beer (Figura 41), aperfeiçoou os subsistemas. A **operação divisional** passou a apresentar uma recursividade dos subsistemas 1 e 2, passando a realizar dentro desse subsistema, as atividades operacionais, o autogerenciamento e a regulação local. Enquanto a **diretoria divisional** possui recursividade nos subsistemas 3, 4 e 5, que foram adicionados ao centro regulatório da corporação (parte do subsistema 2), atuando como: auto regulação e regulação autonômica, como diretoria de desenvolvimento e em nível de conselho. A **regulação local** realiza suas atividades como no modelo anterior e o **centro regulatório de corporação** se tornou em um ponto anti-oscilatório. Já a **diretoria de operação divisional** ainda se remete à máquina homeostática, realizando atividades de auto regulação e regulação autonômica, focada no segmento interno e atual, seguida da **auditoria**, que desempenha atividades esporádicas para equilíbrio do sistema.

SUBSISTEMA 4

O subsistema 4, ou seja, a diretoria de desenvolvimento (D.Des.), é considerado por Beer como o centro de atividade corporativa – Figura 42. Relaciona-se, no Sistema Nervoso Humano, à parte do cérebro chamado diencéfalo. O diencéfalo é dividido em várias partes e possui várias funções especializadas, que caracterizam essa região como um “[...] centro primário para o processamento de informações sensoriais e controle autonômico” (KENHUB, 2018), posto que é uma região que possui muitas comunicações com o cérebro e com o resto do corpo.

Figura 42 - Subsistema 4 em 1981

Fonte: BEER, 1981, p. 182, imagem alterada pela autora.

Para Beer, o subsistema 4 é um local onde deve haver planejamento com base nos dados recebidos e filtrados pelos níveis anteriores, bem como a projeção de suas ações, por meio de simulações, para um meio ambiente futuro:

Eu proponho um centro de controle para a corporação que está em atividade contínua. Essa seria a personificação física de qualquer Sistema Quatro. Todas as reuniões seniores formais seriam realizadas lá; e no resto do tempo, todos os executivos seniores a tratariam como uma espécie de sala clube. PAPEL SERIA BANIDO DESTE LUGAR. É o que os gregos chamavam de *phrontisterion* [tutores] - uma loja de pensar¹¹² (BEER, 1981, p. 194. Ênfase do autor. Tradução nossa).

Portanto, o subsistema 4 (azul) refletiria um espaço físico, como uma sala de comando na qual as decisões seriam avaliadas, filtradas, planejadas, simuladas e tomadas em consideração. As pessoas que operariam esse ambiente seriam aquelas que compõem o corpo pessoal do nível de conselho, ou seja, o subsistema 5.

A diretoria de desenvolvimento recebe, como *inputs*, as informações filtradas e enviadas pela máquina ideal P-Q-R-S, por meio da conexão R-P, somadas aos estímulos externos do meio ambiente, simulados em um cenário futuro; além desses *inputs*, o subsistema 4 também recebe dados do filtro de excitação 1 proveniente do subsistema 3, além de uma resposta do subsistema 5. Como *outputs* do sistema, o subsistema 4 envia as informações processadas para o subsistema 5, tanto pelo nódulo de interligação da conexão advinda do subsistema 3 (R-P), e da simulação futura, quanto pelo filtro de excitação 2 (FE2), no caso de haver necessidade de tomadas de decisões rápidas; também como *output*, encaminha os dados processados advindos do subsistema 5, que serão encaminhados ao subsistema 3 através da conexão Q-S, no qual os dados são-se filtrados para serem enviados às diretorias divisionais do sistema, e também para o meio ambiente externo futuro, no caso das simulações e planejamentos a serem realizados (Figura 42).

Além dessas características, o subsistema 4, em conjunto com o subsistema 3, executa uma curva de retroalimentação (setas largas), para manter o equilíbrio entre o segmento divisional e a corporação de gerenciamento frente ao que

¹¹² Do original: "I propose a control centre for the corporation which is in continuous activity. This would be the physical embodiment of any System Four. All senior formal meetings would be held there; and the rest of the time, all senior executives would treat it as a kind of club room. PAPER WOULD BE BANNED FROM THIS PLACE. It is what the Greeks called a *phrontisterion* – a thinking shop" (BEER, 1981, p. 194).

acontece na empresa e ao que poderá acontecer no futuro, para que este sistema sempre possa crescer e amadurecer (Figura 43).

Atualizando para o modelo de 1985, Beer esclarece a questão da conexão com o meio ambiente externo futuro, enaltecendo a auto referência, a simulação e o planejamento.

Fonte: BEER, 1985, p. 136, imagem alterada pela autora.

Sua ligação com o subsistema 5, antes considerada como filtro de excitação (FE2) agora é chamada de ponto algedônico¹¹³, que representa a dor e o prazer presentes simultaneamente no sistema. Dessa forma, o subsistema 4 mantém suas características similares ao modelo anterior, não apresentando a recursividade do sistema como no subsistema 1.

SUBSISTEMA 5

O subsistema 5, chamado nível de conselho (N.C.), representa, “[...] a parte pensante de toda a organização. Isso, para o corpo, é o próprio córtex - e para a empresa é a gerência sênior”¹¹⁴ (BEER, 1981, p. 201, tradução nossa). A gerência sênior, ou alta administração, como denominada por Beer, apresenta-se como uma identidade da organização em relação aos indivíduos. Beer (1981, p. 226), destacou

¹¹³ Ponto algedônico: elemento de decisão, com entrada e saída de informações, em uma rede de elementos de decisão que controlam um sistema, condicionado a um metassistema que usa o método heurístico de dor e prazer (BEER, 1981, p. 67).

¹¹⁴ Do original: “[...] the thinking part of the whole organization. This, for the body, is the cortex itself - and for the firm it is the senior management” (BEER, 1981, p. 201).

a importância da identidade, mesmo que a organização encerre suas atividades, Beer ressaltou que:

A alta administração é sobre um cálculo político, sobretudo sobre a natureza do sistema viável. Pois se, como temos argumentado, a viabilidade é o critério de identidade e de estrutura organizacional, então é vital que toda a nossa noção de administração não seja violenta para com ela. O começo da sabedoria aqui me parece esse reconhecimento de identidade. Essas ideias se repetem em todos os ramos do pensamento gerencial moderno, mas não acredito que os gerentes reconheçam a unidade subjacente aqui¹¹⁵ (BEER, 1981, p. 227, tradução nossa).

Somado a essa característica de alta administração, o nível de conselho é constituído pelas suas instâncias superiores de maneira a parecer, inicialmente, um organograma convencional, como mostra a Figura 44 à esquerda. Beer exemplificou essa estrutura por meio de uma organização com 13 instâncias superiores, na qual uma instância superior possui três outras que contribuem para filtrar informações e tomar decisões, essas três instâncias têm três outras instâncias, criando assim uma teia administrativa colaborativa (BEER, 1981, p. 201). Beer defende o ponto de vista de um trabalho sinérgico entre todas as instâncias decisórias, diminuindo assim a margem de erro através de interligação dos agentes que, apesar de atuarem individualmente, aportam contribuições de maneira mais inclusiva e colaborativa incluindo todas as instâncias durante o processo, como visto na Figura 44 à direita.

Figura 44 – Nível de Conselho do Subsistema 5

Legenda - Nó Múltiplo do Nível de Conselho: à esquerda com organização piramidal e à direita com integração.

Fonte: BEER, 1981, p. 201, 204.

¹¹⁵ Do original: "The higher management is about a policy calculus, above all about the nature of the viable system. For if, as we have been arguing, viability is the criterion of identity and of organizational structure, then it is vital that our whole notion of managing does not do violence to it. The beginning of wisdom here seems to me this very recognition of identity. This ideas recurs in all branches of modern management thinking, but I do not reckon that managers recognize the underlying unity here" (BEER, 1981, p. 227).

Figura 45 – Subsistema 5 em 1981

Legenda – Nível de Conselho: *Input* – Sensorial- e *Output* – Motor.
Fonte: BEER, 1985, p. 201, 204.

O subsistema 5, Figura 45, remete-se ao córtex cerebral, o qual é responsável pela administração de todo o corpo:

Responsável pelo pensamento, funções cognitivas, processos de percepção e a capacidade de produzir e entender a linguagem. Local de chegada de todas as vias da sensibilidade que aí se tornam conscientes e são interpretadas. Emite impulsos que comandam os movimentos voluntários (SÃO FRANCISCO, 2018).

O córtex cerebral é responsável, no corpo humano, por receber as informações sensoriais captadas ao longo de todo o corpo. Uma vez recebidas, estas são processadas, convertendo-se em resposta motora que será enviada para

as partes envolvidas. É a parte de processamento e gestão mais complexa e importante do corpo.

De modo análogo, o subsistema 5 recebe as informações filtradas no subsistema 4, provenientes tanto da correspondência ascendente desde o subsistema 1, bem como do filtro de excitação (FE2), que são captadas pelos sensores cerebrais. Estes respondem motoramente, enviando as informações para os subsistemas anteriores, que as filtrarão até o subsistema 1.

Figura 46 – Subsistema 5 em 1985

Fonte: BEER, 1985, p. 136.

O modelo atualizado de 1985 de Beer, Figura 46, manteve as características do primeiro modelo de 1981. O subsistema 5 representa a diplomacia que envolve todo o sistema viável, como um homeostato que tende a buscar o equilíbrio de todo o sistema.

O Modelo de Sistema Viável de Beer, portanto, com sua estrutura hierárquica, funciona de maneira semelhante ao sistema nervoso humano com suas operações, regulações, direções e gerenciamento, gerando uma homeostase interna, frente aos distúrbios externos que assolam o VSM, tal como o sistema nervoso, com sua medula espinhal, sistema simpático, parassimpático e cérebro, que atuam no controle dos estímulos aferentes e eferentes, promovendo a homeostase interna do corpo. O detalhamento da estrutura organizacional do VSM de Beer nos permitirá compreender melhor as similaridades que o mesmo possui com a estrutura de um ecossistema. Um ecossistema é constituído por diversas partes que, de maneira

autônoma, interação entre si. Ele possui obrigatoriamente componentes bióticos e abióticos, que formam um todo coeso funcionando de forma eficaz.

SINERGIA NO MODELO DE SISTEMA VIÁVEL

Beer estudou ao longo da sua vida padrões matemáticos e biológicos, inicialmente através de análises do cérebro e do sistema nervoso humano. No entanto, percebeu que o Modelo de Sistema Viável necessitava integrar outros aspectos para responder aos desafios crescentes de organizações complexas, pois o VSM mostrou-se limitado na construção de um grupo com consciência coletiva e com participantes colaborativos. Por isso, ele partiu de uma forma geométrica tridimensional para resolver o que ele considerou a alma do VSM:

A cibernética expressa pelo VSM está disponível para ajudar. E se, como foi argumentado, o principal problema é o bom funcionamento do homeostato Três-Quatro, então esse seria um bom ponto de partida. Precisamos metabolizar os recursos criativos e sinérgicos da empresa. A equipe de gerenciamento diretivo de uma empresa talvez seja o exemplo mais energético de um *infoset* com o qual a sociedade está familiarizada ¹¹⁶ (BEER, 1994, p. 159, tradução nossa).

Nesse caso, Beer considerou que a relação entre os subsistemas 3 e 4 é relevante para o funcionamento de toda a empresa e decidiu que essa questão precisava ser resolvida de outra forma (RÍOS, 2011):

A necessidade de uma ferramenta para facilitar a comunicação entre o Sistema 4 e Sistema 3 em uma organização foi esclarecida pelo próprio Beer quando o VSM foi apresentado. Sua última inovação, denominada *Team Syntegrity* (TS) (Beer 1994), foi devidamente desenvolvida para ajudar esses dois sistemas a se comunicarem adequadamente e, como resultado, contribuir para o bom funcionamento do homeostato Sistema 4 - Sistema 3, que, como

¹¹⁶ Do original: "The cybernetics expressed by the VSM is available to help. And if, as has been argued, the primary problem is the proper functioning of the Three-Four homeostat, then that would be a good place to start. We need to metabolize the creative and the synergetic resources of the enterprise. The directive management team of an enterprise is perhaps the most virile example of an infoset with which society is familiar" (BEER, 1994, p. 159).

sabemos, é fundamental para garantir a adaptação e a viabilidade da organização¹¹⁷ (RÍOS, 2011, p. 201, tradução nossa).

A importância de um meio de comunicação que facilitasse a interação entre o Sistema 3 e 4 se fez essencial para manter o VSM viável, refletindo assim a interconectividade entre o VSM e o *Team Syntegrity*. Dessa forma, em 1994 Beer propôs o *Team Syntegrity* para proporcionar a colaboração entre os dois sistemas. Assim, os objetivos de um meio comunicativo para tal deveria ter as seguintes premissas:

- Gerar um alto nível de participação entre os indivíduos envolvidos;
- Fornecer uma estrutura e um sistema de comunicação que garantam a natureza não-hierárquica do processo [...];
- Beneficiar-se da variedade e riqueza de conhecimentos fornecidos por cada indivíduo dentro do grupo, colocando em prática as sinergias derivadas da interação entre todos os seus membros;
- Criar uma consciência coletiva, se possível compartilhada entre todos os membros do grupo, em relação à questão central que está sendo considerada e analisada¹¹⁸ (RÍOS, 2011, p. 205, tradução nossa).

Com isso, Beer acreditou construir um sistema de equipe colaborativa em que houvesse uma sinergia entre todos os participantes do processo, gerando uma alta variedade devida à diversidade de pessoas e à colaboração a partir de uma consciência coletiva não hierárquica. Para a idealização dessa estrutura, Beer recorreu aos estudos do arquiteto Buckminster Fuller, quando disse que:

Então eu tropecei em um velho presente de Buckminster Fuller - um mapa do tempo inscrito de sua própria vida - e comecei a pensar mais sobre suas geodésicas [...] e eu ouvi novamente em minha

¹¹⁷ Do original: “The need of a tool for facilitating communication between System 4 and System 3 in an organisation was made clear by Beer himself when the VSM was introduced. Its last innovation, termed Team Syntegrity (TS) (Beer 1994), was duly developed in order to help these two systems to communicate adequately and, as a result, to contribute to the smooth running of the System 4-System 3 homeostat, which, as we know, is critical for ensuring the organisation’s adaptation and viability” (RÍOS, 2011, p. 201).

¹¹⁸ Do original: “– To generate a high level of participation among the individuals concerned; – To provide a structure and a system of communication that guarantee the nonhierarchical nature of the process; – To benefit from the variety and wealth of knowledge supplied by each individual within the group, putting into practice the synergies derived from the interaction among all its members; – To create a collective awareness, if possible shared among all the members of the group, regarding the central issue being considered and analysed” (RÍOS, 2011, p. 205).

própria cabeça o ditado de Bucky: todos os sistemas são poliedros. É uma percepção incrível¹¹⁹ (BEER, 1994, p. 12, tradução nossa).

Definida por Fuller como o “[...] comportamento de sistemas integrais, agregados, inteiros e imprevisíveis através dos comportamentos de qualquer um de seus componentes ou subconjuntos de seus componentes tomados separadamente do todo”¹²⁰ (FULLER, 1975-79, p. 102.00, tradução nossa). Ou seja, as partes conjuntamente compõem um sistema podendo determinar as características do todo, entretanto, separadas, podem não exibir o mesmo comportamento.

Beer se apoia nos princípios da máquina homeostática, aplicados à interação e conexão entre as pessoas e estabelece uma estrutura de relações chamada *SYNTEGRITY*¹²¹:

A estrutura que buscamos deve refletir a noção de uma democracia perfeita, como foi argumentado antes. Certamente significa que nenhum indivíduo, e inicialmente nenhuma causa, deve ter ascendência sobre qualquer outro. Então, em busca de poliedros sobre os quais construir modelos de *tensegrity* democrática, devemos considerar apenas os poliedros regulares: figuras sem topo, sem fundo, sem lados - de fato, sem características pelas quais possam ser especialmente orientadas¹²² (BEER, 1994, p. 14, tradução nossa).

Beer propôs uma estrutura não-hierárquica e democraticamente perfeita para enfrentar os desafios (BEER, 1994, p. 12), adotando a forma da geodésica.

A palavra *tensegrity* usada por Beer provém da explicação de Fuller sobre as formas de tensão e compreensão, além de seu comportamento. Portanto:

[...] o todo, a INTEGRIDADE, da estrutura é garantida não pelas tensões de compressão locais onde os elementos estruturais são unidos, mas pelas tensões de tração totais de todo o sistema. Daí

¹¹⁹ Do original “Then I stumbled on an old gift from Buckminster Fuller - an inscribed time map of his own life - and started to think more about his geodesics. [...]. And I heard again in my own head Bucky's dictum: all systems are polyhedra. It is an amazing insight” (BEER, 1994, p. 12).

¹²⁰ Do original: “[...] behavior of integral, aggregate, whole systems unpredicted by behaviors of any of their components or subassemblies of their components taken separately from the whole” (FULLER, 1975-79, p. 102.00).

¹²¹ Syntegrity: SYNERGY (sinergia) + TENSEGRITY (integridade de tensão).

¹²² Do original: “The structure that we seek must reflect the notion of a perfect democracy, as was argued before. It surely means that no individual, and initially no cause, should have ascendancy over any other. Then in looking for polyhedra on which to construct democratic tensegrity models, we must consider only regular polyhedra: figures which have no top, no bottom, no sides - indeed no features by which they may be specially oriented at all” (BEER, 1994, p. 14).

veio o termo da junção para a Integridade e Tensão: TENSEGRIDADE¹²³ (BEER, 1994, p. 13).

Assim, Beer se pautou nas da integridade da tensão de um sistema como um todo, em que se observou uma unidade da organização social. Além disso, Beer também entendeu que essas forças de compressão e tração promoviam outras questões estruturais, quando disse que:

Fuller formulou a ideia de que a natureza existe em uma ponderação equilibrada entre as forças de compressão e tensão. Obviamente, a existência de ambas as forças já era conhecida, mas sua coexistência colaborativa em todos os sistemas físicos não havia sido enfatizada¹²⁴ (BEER, 1994, p. 12, tradução nossa).

Portanto, Beer entendeu o icosaedro, a base geométrica da geodésica, como uma forma baseada em forças equilibradas de compressão e tensão utilizando-a para a reformulação do modelo de organização, quando disse:

[...] decidi basear meus principais experimentos no icosaedro e considerar as bordas como representações dos membros do *Infoset* (ou seja, 30) e os vértices como representações dos tópicos ou questões-chave (ou seja, 12), com o resultado de que as arestas que se unem em cada vértice (ou seja, 5) seriam protagonistas de cada tópico¹²⁵ (BEER, 1994, p. 14-15, tradução nossa).

A partir de então, Beer passou a considerar a forma geométrica do icosaedro para compor a sua organização social. Um icosaedro possui 12 vértices, dos quais saem 5 conjuntos de arestas, totalizando 30 arestas. Beer considerou os vértices como sendo tópicos de discussão e as arestas como as pessoas envolvidas, dessa forma, 30 pessoas discutiriam 12 tópicos. Beer levou em conta o icosaedro como um todo e chamou-o de *Infoset*, portanto, o seu *Infoset* seria composto por um grupo de 30 indivíduos e 12 tópicos, em que cinco pessoas discutiriam diretamente um tópico.

¹²³ Do original: “[...] the wholeness, the INTEGRITY, of the structure is guaranteed not by local compressive stresses where structural members are joined together, but by the overall tensile stresses of the entire system. Hence came the portmanteau for Tensile Integrity: TENSEGRITY” (BEER, 1994, p. 13).

¹²⁴ Do original: “Fuller formulated the idea that nature exists in an equilibrial balance between the forces of compression and tension. Obviously the existence of both forces was already known, but their collaborative coexistence in all physical systems had not been emphasized” (BEER, 1994, p. 12).

¹²⁵ Do original: “I decided to base my major experiments on the icosahedron, and to consider the edges as representing infosets members (namely 30) and the vertices as representing topics or key issues (namely 12), with the result that the edges conjoining at each vertex (namely 5) would be protagonists for each topic” (BEER, 1994, p. 14-15)

A seguir, Figura 47, encontram-se todas as ligações possíveis dentro de um *Team Syntegrity*, o qual é composto por ligações diretas, aquelas que são estruturadas pelos membros de equipes que discutem um tópico, e por ligações indiretas, compostas pelos críticos dos tópicos, geradas pela face oposta ao vértice discutido.

Figura 47 – Rede de Interações do Team Syntegrity

Legenda – Montagem das equipes por seleção de cores em tópicos, os membros e críticos em Syntegration Episódio 4.

Fonte: BEER, 1994, p. 138-139, imagem traduzida pela autora.

Com essa rede de interações é possível construir o icosaedro e estipular as conexões diretas, indiretas e opostas, para a construção da estrutura sinérgica.

O icosaedro possui uma simetria única, em que há semelhança em qualquer posição em que ele esteja sendo dividido, ou seja, quaisquer quadrantes irão sempre possuir a mesma simetria que a outra parte. Sendo assim, podemos considerar que seus vértices possuem sempre um polo oposto e, portanto, temos seis conjuntos de dois vértices que se contrapõem. Na imagem a seguir podemos

observar um icosaedro em que, vemos e consideramos seus polos como os vértices vermelho e branco, sendo: o vértice vermelho, com suas arestas representadas por vermelho tanto no modelo como na projeção, possui os nomes das arestas com cores duplas, posto que o membro participe de dois tópicos ao mesmo tempo. Dessa forma, no tópico vermelho, temos os participantes vermelho-roxo, vermelho-amarelo, vermelho-laranja, vermelho-ouro e vermelho-azul claro. Esses cinco participantes contribuem para a discussão do tópico vermelho e dos respectivos tópicos que interligam os participantes (Figura 48), como explicado por Ríos (2012, p.208-209).

Figura 48 – Icosaedro: membros e críticos

Legenda – À direita, projeção em vermelho dos membros participantes do tópico vermelho; à esquerda, projeção azul dos críticos participantes do tópico vermelho.

Fonte: DI STASI, M. G. PRATSCHKE, A., 2019.

Em seu polo oposto, sendo o branco da tabela de Beer, no entanto, desenhado em azul na Figura 48, os tópicos de discussão circundantes ao tópico branco formam uma estrela com os membros que interligam essa face do icosaedro, no modelo estes são representados por fios com os respectivos nomes e a projeção encontra-se em azul, em que os cinco participantes são preto-verde, prata-azul escuro, preto-marrom, verde-azul escuro e prata-marrom, no qual esses membros estão ligados de forma indireta ao tópico vermelho, atuando como críticos externos das contribuições e evoluções que ocorrem no tópico. O mesmo ocorre na posição oposta, a estrela circundante ao tópico vermelho atua como crítico do tópico branco

e isso acontece em todas as faces (Figura 49), como demonstrou Ríos (2012, p. 208-209).

Figura 49 – Icosaedro: observadores

Legenda – Icosaedro com discussão do tópico vermelho: à direita, membros - vermelho; à esquerda, críticos – azul; em baixo, observadores – verde.

Fonte: DI STASI, M. G. PRATSCHKE, A., 2019.

Segundo Ríos (2012, p. 210), no ato da discussão do tópico vermelho, os cinco membros participam de forma direta e os críticos de forma indireta, e dessa forma temos um grupo de 10 pessoas envolvidas no processo, adicionadas a 10 observadores. Estes são membros que conectam os membros do tópico vermelho com os críticos opostos, configurando assim um grupo de 20 pessoas, representado no modelo pelas arestas de cor laranja e preto e na projeção pela cor verde. Os observadores participantes são ouro-verde, verde-azul claro, azul claro-marrom, marrom-roxo, roxo-azul escuro, azul escuro-amarelo, amarelo-preto, preto-laranja, laranja-prata e prata-ouro (Figura 49).

Beer estruturou o *Infoset* e definiu esse ‘conjunto de informações’ de acordo com sua percepção das limitações do *VSM*:

Eu propus que o que levava as pessoas a grupos coesos era a informação compartilhada que as transformara em indivíduos com uma meta. Os dados em si não fornecem essa coesão: é a interpretação dos dados que adquire propósito, e é a interpretação compartilhada entre os indivíduos que obtêm a coesão do grupo. Assim grupos deste tipo foram nomeados como infosets¹²⁶ (BEER, 1994, p. 10, tradução nossa).

Para assegurar a coesão de grupos, estes deveriam compartilhar as informações, formando indivíduos com propósitos para garantir o funcionamento de grupos com uma consciência coletiva. Para tal, Beer compreendeu o icosaedro como um meio capaz de promover a discussão e tornar a coesão almejada viável. Assim, Beer absorveu e retransmitiu as propriedades estruturais da forma para atingir suas propostas. O ciclo homeostático entre o Subsistema 3 e 4 foi desenvolvido para remediar as questões de diálogo interpessoais, e funciona de maneira que:

[...] algum nó dentro do sistema propaga uma ideia, que então salta para outros nós - e retorna (um pouco modificada) para atingir seus progenitores [...]. Esse conceito de Reverberação passou a significar para mim a instrumentalidade da tensegridade dentro do *Infoset*: ele gera sinergia. [...] Boris Freesman sugeriu que minha própria ênfase na sinergia atribuível à reverberação deveria ser reconhecida. Ele cunhou a palavra Syntegrity, que reúne a tensegridade sinérgica, e Team Syntegrity tem sido o nome dessa técnica desde então¹²⁷ (BEER, 1994, p. 13-14, tradução nossa).

O uso do icosaedro como modelo estrutural organizacional trouxe para Beer a possibilidade de estabelecer uma rede de interações sinérgicas. Como a rede se constrói através do modelo geométrico, em que 12 tópicos são discutidos

¹²⁶ Do original: “I proposed that what brought people into cohesive groups was the shared information that had changed them into purposive individuals. Data themselves do not supply this cohesion: it is the interpretation of data that procures purpose, and it is the shared interpretation between individuals that procures group cohesion. Thus groups of this kind were nominated as infosets” (BEER, 1994, p. 10).

¹²⁷ Do original: “[...] some node within the system propagates an idea, which then bounces round other nodes - and returns (somewhat modified) to hit its progenitors [...]. This concept of Reverberation came to mean to me the instrumentality of tensegrity within the Infoset: it generates synergy. [...] Boris Freesman suggested that my own emphasis on the synergy attributable to reverberation should be acknowledged. He coined the word Syntegrity, which draws together synergetic tensegrity, and Team Syntegrity has been the name for this technique ever since” (BEER, 1994, p. 13-14).

simultaneamente por 5 indivíduos, sendo que cada indivíduo discute dois tópicos ao mesmo tempo e fazem parte de outro grupo de maneira indireta, o *InfoSet* como um todo, se estrutura com 30 conexões diretas, somadas a 30 conexões indiretas, totalizando uma teia com 60 conexões. A conectividade entre os indivíduos e as discussões sobre o tema não trazem soluções repetidas, abrindo-se oportunidades para vários pontos de vista sobre um mesmo tema (BEER, 1994, p. 15), permitindo um alto nível de variedade e assim garantindo tomadas de decisão mais coerentes.

A estrutura do icosaedro, em termos organizacionais, é concebida por meio de protocolos, nos quais são definidos os participantes, os tópicos que serão abordados, as posições tanto dos tópicos como das pessoas dentro do icosaedro e as funções atribuídas a cada um.

O detalhamento sobre a organização humana no *Syntegrity* é importante para enfatizar o objetivo da investigação, posto que essa estratégia evidencia as conexões entre os membros que participam do processo, criando uma rede sinérgica que torna o processo colaborativo, promovendo solução de conflitos interpessoais e discussão de temas sem sobreposição de energias dentro do sistema.

3.3. O SISTEMA VIÁVEL SOB O PONTO DE VISTA ECOSSISTÊMICO

Neste subcapítulo serão tratados os conceitos e modelos referentes à viabilidade do sistema existente nos modelos de Beer, sob o ponto de vista ecossistêmico, visando constatar a correlação da Biologia com a Cibernética por meio da construção de ideais recorrentes da década de 1970.

Foi a partir de 1970 que a disciplina de Ecologia de Ecossistemas tomou forma como campo de estudo.

A rede de interações bióticas, considerada por John Thompson (THOMPSON, 2009, p. 7) como a intercomunicação mutualística de plantas e animais, é de extrema relevância para a biodiversidade, posto que esse processo permite que as espécies sobrevivam e se reproduzam.

O estudo de ecossistemas complexos, em sua grande variedade e configurados como sistemas abertos, se torna necessário para se compreender que

o sistema tem propriedades mais fortes que a simples soma de suas partes, nos dando um panorama amplo a respeito não só das interações entre os agentes do sistema, mas também da sua evolução, funcionamento e a estabilidade (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 18). Portanto:

Os sistemas complexos se caracterizam por estar formados por múltiplas partes que interagem entre si, frequentemente com a complexidade adicional de o fazer a múltiplos níveis¹²⁸ (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 18, tradução nossa).

Com isso compreendemos que as interações em redes complexas do ecossistema acontecem entre os agentes que fazem parte do sistema, em diversos níveis, o que o torna ainda mais complexo.

Para entender a interação entre os agentes, matrizes podem ser representadas através da construção gráfica, em que as redes aparecem estruturadas por nós e pelo entrelaçamento entre eles – Figura 50.

Figura 50 – Representações gráficas de tipos de redes de interação

Fonte: JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 23, traduzida pela autora.

À esquerda temos uma rede não dirigida, ou seja, os nós se conectam, mas não há informações em relação a que nó transmite dados para outro. Neste caso, pode haver uma subrede com conexões mais intensas dentro de uma rede maior.

¹²⁸ Do original: “Los sistemas complejos se caracterizan por estar formados por múltiples partes que interactúan entre sí, frecuentemente con la complejidad adicional de hacerlo a múltiples niveles” (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 18).

Na rede dirigida, é possível saber por onde a informação passa, por exemplo, ao se transmitir energia de um nível trófico ao outro – da caça ao predador.

A importância em se estudar as redes complexas e não aleatórias, existentes nos ecossistemas, é que estas podem apresentar nós poucos conectados e nós super conectados, chamados de *hubs*, e que não existem em redes aleatórias (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 25). Isso nos permite observar como se comportam as redes, se há indivíduos dominantes, sendo mais especializada, ou se age de forma generalizada, parecida ao diagrama do *Syntegrity* (ver p. 132). Dessa forma, o padrão de aninhamento (*nestedness*) pode refletir uma estrutura em que há espécies especializadas em contato com espécies generalistas, ou seja, há uma organização não homogênea que cria vórtices dentro de uma comunidade biológica: “As evidências mais recentes, obtidas a partir de comparações entre redes de interações de maior especificidade, sugerem que esses vórtices podem funcionar como subredes que, por sua vez, mostram uma estrutura aninhada”¹²⁹ (LEWINSOHN *et al.* Apud JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 31). As estruturas complexas, nas quais há misturas de interações mais especializadas e mais generalizadas, trazem à rede simetrias e assimetrias, o que ocasiona propriedades de persistência e robustez ao sistema (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 35).

A organização heterogênea e os *hubs* dentro de um ecossistema apresentam características que, em caso de perda de espécies ou mesmo de invasão de espécies exóticas ao sistema, a estrutura se mantém devido à complexidade do mesmo. Sendo assim, em redes complexas, quando um *hub* é perdido, este tem a capacidade de se adaptar e refazer a rede de interações, configurando assim um ecossistema homeostático (JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 40).

Adentrando novamente as questões de recursividade, Beer considerou sua existência quando apontou que:

Conforme incorporado no Modelo do Sistema Viável, os princípios da recursão afirmam que todos os sistemas viáveis contêm, e estão contidos, em sistemas viáveis. Isso não é expresso de maneira vaga: é rigorosamente determinado pela Lei da Coesão na teoria VSM.

¹²⁹ Do original: “Las evidencias más recientes, cuando se han estudiado comparativamente redes de interacción de mayor especificidad, sugieren que estos vórtices pueden funcionar como subredes que a su vez muestran una estructura encajada” (LEWINSOHN *et al.* Apud JORDANO, VÁZQUEZ e BASCOMPTE, 2009, p. 31).

Nesta, entretanto, a recursão implica que todos os sistemas contidos são eles próprios viáveis¹³⁰ (BEER, 1994, p. 229, tradução nossa).

Sendo assim, além da clara demonstração de recursividade de todo o sistema dentro do Subsistema 1, como determinado no modelo elucidado por Beer (BEER, 1985, p. 135), o autor reforça uma década após (BEER, 1994, p. 229), que a recursividade existe no VSM. Além de Beer, Markus Schwaninger também demonstrou em seus estudos a presença da recursividade no VSM, em que a existência de um padrão organizacional pode fazer parte tanto de um subsistema como de um todo:

A estrutura delineada aqui [VSM] mostra que uma única e mesma organização pode funcionar simultaneamente como um subsistema e um super-sistema no contexto de diferentes dimensões organizacionais recursivas: a recursão é um conceito multidimensional¹³¹ (SCHWANINGER, 2015, p. 941, tradução nossa).

A recursividade pode ser encontrada nos padrões existentes da natureza, sendo uma delas o fractal, forma física e matemática que apresenta o mesmo padrão repetido diversas vezes, de maneira a compor uma forma harmônica, ou seja, caso uma parte seja retirada, o todo não poderá mais expor as mesmas características: “Fractais são o produto de funções recursivas, ou seja, fórmulas aplicadas a si mesmas em iterações”¹³²¹³³ (SCHWANINGER, 2004, p. 518, tradução nossa).

De acordo com Markus Schwaninger¹³⁴, as teorias dos fractais tornaram-se populares para a discussão de sistemas organizacionais (SCHWANINGER, 2004, p. 518) e revelam que a recursividade pode aproximar-se da sustentabilidade:

¹³⁰ Do original: “As embodied in the Viable System Model, the principles of recursion asserts that all viable systems contain, and are contained in, viable systems. This is by no means loosely expressed: it is rigorously determined by the Law of Cohesion in VSM theory. In this, however, recursion entails that all systems that are contained are themselves viable” (BEER, 1994, p. 229).

¹³¹ Do original: “The structure outlined here shows that one and the same organization can function simultaneously both as a sub-system and a super-system within the framework of different recursive organizational dimensions: recursion is a multidimensional concept” (SCHWANINGER, 2015, p. 941).

¹³² Iterações: Ação ou ato de se repetir. Em álgebra são sucessivos cálculos.

¹³³ Do original: “Fractals are the product of recursive functions, i.e. formulas applied onto themselves in iterations” (SCHWANINGER, 2004, p. 518)

¹³⁴ Markus Schwaninger (1947-): Nascido em Salzburg, Áustria. Estudou economia na St. Gallen University, na Suíça. Em 1990, Stafford Beer fez seu primeiro teste do Team Syntegrity com os estudantes da St. Gallen University do qual Schwaninger participou. Atualmente é professor na mesma universidade, no qual pesquisa sobre gerenciamento de sistemas dinâmicos complexos. Ele também é diretor da International World Organization of Systems and Cybernetics.

O conceito de recursão é provavelmente uma das contribuições mais valiosas da abordagem de sistemas para o futuro da humanidade. [...]. A recursão nos dá a chave: a sustentabilidade só pode ser alcançada por meio do esforço recursivo em todos os níveis, do cidadão ao mundo. Há questões regulatórias diferentes, mas igualmente importantes, em cada um desses níveis¹³⁵ (SCHWANINGER, 2004, p. 518-519, tradução nossa).

A recursividade é uma questão importante no processo de projeto, devido ao fato de ser um conceito presente na natureza, mas também relevante para a viabilidade do sistema como sustentável, sendo um ponto chave no desenvolvimento das ideias de Beer.

Outro ponto chave para o VSM é a sinergia existente no processo, e a forma como as interações entre os agentes acontecem de forma sinérgica.

Sinergia é um conceito que, definido pelo designer e ciberneticista Klaus Krippendorff, “[...] refere-se aos benefícios dos esforços colaborativos, em oposição aos esforços individuais”¹³⁶ (KRIPPENDORFF, 2018, tradução nossa). Já para Markus Schwaninger, “Sinergia (do grego *syn* e *ergon*) é trabalho conjunto, que torna o todo maior do que a soma de suas partes”¹³⁷ (SCHWANINGER, 2004, p. 524, tradução nossa), ou seja, suas partes, quando atuam individualmente, não são tão eficientes como quando atuam conjuntamente, pois estas atuam colaborativamente, ou sinergicamente.

Nas definições de Peter Corning, “A hipótese [*Synergism Hypothesis*], em suma, é que a sinergia [...] tem desempenhado um papel fundamental na evolução da cooperação e complexidade em todos os níveis de sistemas vivos”¹³⁸ (CORNING, 2010, p. 3, tradução nossa). O uso do conceito de sinergia deixou de ser empregado por um período, retornando nos dias atuais, mais precisamente na década de 1980, por meio dos escritos do britânico e biólogo John Maynard Smith (1920 – 2004), “[...] que desenvolveu um modelo de seleção sinérgica para caracterizar os efeitos

¹³⁵ Do original: “The concept of recursion is probably one of the most valuable contributions of the systems approach to the future of humanity. [...]. Recursion gives us the key: sustainability can only be brought about via the recursive effort at all levels, from citizen to world. There are different, but equally important regulatory issues at each one of those levels” (SCHWANINGER, 2004, p. 518-519).

¹³⁶ Do original: “[...] refers to the benefits of collaborative as opposed to individual efforts” (KRIPPENDORFF, 2018).

¹³⁷ Do original: “Synergy (from the Greek *syn* and *ergon*) is joint work, to make the whole greater than the sum of its parts” (SCHWANINGER, 2004, p. 524).

¹³⁸ Do original: “The hypothesis, in brief, is that synergy [...] has played a key role in the evolution of cooperation and complexity at all levels of living systems” (CORNING, 2010, p. 3).

funcionais interdependentes que podem surgir da cooperação altruísta”¹³⁹ (CORNING, 2010, p. 13, tradução nossa). De acordo com Corning, a sinergia está presente em várias disciplinas, tais como, Física Quântica, Física, Termodinâmica, Biofísica, Química, Bioquímica, Biologia Molecular, Desenvolvimento Biológico, Neurobiologia, Ecologia (Coevolução), Comportamento Biológico (Simbiose e Sócio biologia) e Antropologia (evolução cultural) (CORNING, 2010, p. 55).

Para Suzzane Simard (SIMARD, 2016), as plantas apresentam um sistema de comunicação entre elas, que acontece através do micélio¹⁴⁰ dos fungos associados às suas raízes. Essa rede promovida pelos fungos conecta as plantas de uma floresta e essa comunicação acontece através de envio de nutrientes, como carbono, nitrogênio e outros. A associação entre as plantas e fungos é chamada de micorriza¹⁴¹:

A CMN¹⁴² pode envolver várias espécies de fungos e plantas dentro de uma comunidade. Uma das redes de micorriza mais simples ocorre quando o micélio de um indivíduo fúngico conecta duas plantas da mesma espécie. A complexidade da rede aumenta com números crescentes de espécies de fungos, frequência de conexões, número de plantas de uma espécie e número de espécies de plantas¹⁴³ (SIMARD e DURALL, 2004, p. 1140, tradução nossa).

Essa associação simbiótica cria uma rede de comunicação abaixo da terra, formando uma teia como a internet. A estrutura de uma floresta no subsolo tem sua importância para o ecossistema, pois “O CMN tem o potencial de influenciar a sobrevivência e o crescimento das plantas, influenciando o status de Carbono e de nutrientes das plantas”¹⁴⁴ (SIMARD e DURALL, 2004, p. 1141, tradução nossa).

¹³⁹ Do original: “[...] who developed a synergistic selection model to characterize the interdependent functional effects that may arise from altruistic cooperation” (CORNING, 2010, p. 13).

¹⁴⁰ Micélio: Corpo vegetativo de fungos, composto por hifas agrupadas ou emaranhadas. Localiza-se no subsolo e formam uma rede extensa.

¹⁴¹ Micorriza: Associação simbiótica entre o micélio de certos fungos e as raízes de certas plantas, a qual envolve troca de nutrientes entre as duas espécies. (mico = fungo, riza = raiz).

¹⁴² CMN: *Common Mycorrhizal Network* – Rede Comum de Micorriza.

¹⁴³ Do original: “The CMN can involve multiple fungal and plant species within a community. One of the simplest mycorrhizal networks occurs when the mycelium of one fungal individual connects two plants of the same species. The complexity of the network increases with increasing numbers of fungal species, frequency of connections, number of plants within a species, and number of plant species” (SIMARD e DURALL, 2004, p. 1140).

¹⁴⁴ Do original: “The CMN has the potential to influence plant survival and growth by influencing C and nutrient status of individual plants” (SIMARD e DURALL, 2004, p. 1141).

Além disso, essa teia de comunicações é bastante relevante para um ecossistema consolidado, já que “[...] as redes micorriza são agentes fundamentais de sistemas adaptativos complexos (ecossistemas) porque fornecem caminhos para retroalimentações e interações entre diferentes escalas que levam à auto-organização e a propriedades emergentes dos ecossistemas”¹⁴⁵ (SIMARD, 2012, p. 39, tradução nossa). Portanto, essas redes existentes nos ecossistemas naturais criam uma sinergia que promove a interação colaborativa entre os elementos participantes dos processos ecológicos, de forma análoga ao que Beer propôs em sua estratégia. Vários subsistemas participam de outros sistemas de forma recursiva e hierárquica, também presentes no VSM, na forma de um sistema nervoso, incluindo processamento e controle de informações.

Lynn Margulis e Dorian Sagan (2002, p. 23) ressaltaram a importância da sinergia para a ecologia, quando disseram que: “O arquiteto norte-americano R. Buckminster Fuller (1895-1983) empregou a palavra ‘sinergia’ [...] para descrever as entidades que se portam como mais que a soma de suas partes” (MARGULIS e SAGAN, 2002, p. 23). Assim, suas geodésicas através do conceito sinérgico, foram de grande influência na confluência de teorias cibernéticas, ecológicas e arquitetônicas.

Assim, a estruturação em subsistemas fornecidos pelo VSM, bem como a estratégia colaborativa do *Team Syntegrity*, análogos ao Sistema Nervoso Humano e a rede de micorriza, proporcionam indicadores de desempenho para processos de projeto democráticos e sinérgicos, podendo ser observados nas geodésicas de Fuller a seguir.

¹⁴⁵ Do original: “[...] mycorrhizal networks are fundamental agents of complex adaptive systems (ecosystems) because they provide avenues for feedbacks and cross-scale interactions that lead to self-organization and emergent properties in ecosystems” (SIMARD, 2012, p. 39).

CAPÍTULO 4 - A ARQUITETURA COMO SISTEMA VIÁVEL

IMAGEM: M. C. ESCHER – ESFERA ESPIRALADA

INTRODUÇÃO

O capítulo 4, inserido no conceito da Cibernética de Segunda Ordem, relaciona as questões sobre viabilização do sistema com o desenvolvimento de projetos arquitetônicos que tenham como premissas a rede de interações por meio de subsistemas, recursividade, e características sinérgicas. Foram selecionadas duas intenções projetuais que refletem as alegações anteriores, para análise das peculiaridades de seus planejamentos para atender o bem estar do ser humano, dentro das organizações sistêmicas. Os estudos de casos visam a aproximação dos conceitos cibernéticos de Beer em função dos processos de projeto arquitetônicos. Para tal, foram selecionadas duas análises, das quais a primeira refere-se ao conceito Sinérgico do arquiteto Richard Buckminster Fuller¹⁴⁶, que expõe questões sobre dois projetos, os quais mostram a evolução de seus ideais por meio da efetivação de suas propostas, sendo estes a residência do próprio arquiteto, a Casa Geodésica de Fuller (1960), em Carbondale, Illinois; e o projeto que o notabilizou internacionalmente, o Pavilhão Americano da Feira Internacional de Montreal, no Canadá (1967). A segunda análise é uma ampliação do conceito de habitat e inclui ambiente com um fator central que impacta o seu entorno, pois reflete a recuperação de uma área de extração de argila. Nesta obra há um conjunto de geodésicas, organizadas parametricamente, que servem como habitat para espécies vegetais de diferentes biomas mundiais, compondo um museu botânico contemporâneo intitulado Projeto Éden¹⁴⁷, localizado na Cornoalha, na costa sudoeste da Inglaterra (2001).

¹⁴⁶ Richard Buckminster Fuller (1895-1983): Nascido nos Estados Unidos, ele estudou arquitetura, mas pode ser considerado um inventor visionário. Fez serviço militar no período da Primeira Guerra Mundial, em 1932 teve um momento de introspecção que mudou sua forma de enxergar a vida e começa a propor novas formas de viver através do uso de tecnologias inovadoras. Faz parte do período anterior à Cibernética de Primeira Ordem (1940-1960), e de Segunda Ordem (1960-1990)

¹⁴⁷ Projeto Éden: Localizado a oeste da Inglaterra, na região da Cornoalha. Foi desenvolvido para recuperar uma área de extração de argila. O projeto foi motivado por Tim Smith, no entanto, foi desenvolvido por um coletivo que tinha o mesmo objetivo, de recuperar e tornar essa área um exemplo de sustentabilidade.

4.1. VIABILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA SISTEMATIZAÇÃO

O processo de arquitetura vem se alterando coadunado aos conhecimentos da Cibernética. É possível perceber a importância dos avanços cibernéticos na organização do projeto arquitetônico através do trabalho de alguns arquitetos. Schwaninger defende a proposta de viabilidade do sistema, de acordo com os ideais de Beer, e enfatiza o quão importante é esse pensamento, quando diz que: “[...] a viabilidade da humanidade depende de um desenvolvimento sustentável. Se queremos organizar a viabilidade, temos que nos organizar para a sustentabilidade”¹⁴⁸ (SCHWANINGER, 2015, p. 937, tradução nossa).

Outra condição levantada pelo autor é que todo sistema viável é sustentável, enquanto que nem todo sistema sustentável é viável, e as duas disposições possuem comportamentos tais que emergem de ciclos de retroalimentação entre os elementos da tríade de sustentabilidade (integridade ecológica, saúde social e prosperidade econômica) (SCHWANINGER, 2015, p. 936-937).

Para uma estrutura sustentável viável, de acordo com o VSM de Beer, Angela Espinosa (2015) estipulou aspectos chave dentro do VSM que demonstram a sustentabilidade, além da viabilidade, do sistema. São estes:

- i) Coevolução com seus nichos¹⁴⁹ - O VSM vê uma organização como uma rede neural, um todo dinâmico em um entrelaçado contínuo em que seus nichos respondem de acordo entre eles, de forma a evoluírem juntos (ESPINOSA, 2015, p. 959). Trata do equilíbrio mantido através de interações entre o ambiente e as várias partes do sistema, em todos os níveis, sendo possível observar a viabilidade de suas interações por meio dessa teia de comunicações que permite que a dinâmica interna se ajuste às mudanças micro e macro que ocorrem fora do sistema (ESPINOSA, HARNDEN e WALKER, 2008, p. 643).

¹⁴⁸ Do original: “[...] the viability of humanity hinges on a sustainable development. If we want to organize for viability, we have to organize for sustainability” (SCHWANINGER, 2015, p. 937).

¹⁴⁹ Nichos. Há duas definições em que: nichos ecológicos, em que uma espécie desempenha um papel em um ecossistema em relação aos seus hábitos alimentares, de caça, de proteção, segurança; nichos de mercado são segmentos ou públicos pouco explorados, no qual empresas pequenas podem ocupar para explorar os potenciais e crescer a empresa.

- ii) Autonomia e Coesão – Para atenuar a alta variedade de informações, se estimula que as unidades operacionais tenham seu próprio filtro de variedade e gerenciem as tomadas de decisões de forma rápida e eficaz, demonstrando assim autonomia. Essas unidades autônomas formam um conjunto coeso (ESPINOSA, 2015, p. 959).
- iii) Recursividade – As organizações em rede precisam colaborar para responder coletivamente às estratégias ambientais, e estas por sua vez estão alinhadas com estratégias decididas em outros níveis de recursão. Ao mapear as recursões, é possível identificar o sistema em foco (ESPINOSA, 2015, p. 959).
- iv) Participação e reengajamento – O balanceamento da variedade entre as operações abarca métodos de trabalho em que há participação e empoderamento dos envolvidos, em todos os níveis, promovendo uma comunidade empoderada capaz de mudar paradigmas (ESPINOSA, HARNDEN e WALKER, 2008, p. 643).

Dessa forma, a viabilidade do sistema reside em que este possua uma **rede de interações** das partes que compõe o sistema, permitindo que essas partes desenvolvam atividades **autônomas**, e mesmo assim apresentem-se integradas de maneira coesa em relação ao conjunto que constituem, de forma que a dinâmica interna se ajuste às mudanças externas, promovendo **coevolução**. Além disso, é necessário, que se configurem apontando **recursividade** em vários níveis do sistema, com **participação colaborativa** e empoderamento de todos os participantes. Os projetos escolhidos como exemplos consideram essas questões para o desdobramento de suas propostas, tornando o sistema delineado como viável. O desafio projetual, tendo a viabilização dos sistemas como norteador de decisões, deverá ser adotado na construção de redes de comunicações, na recursividade e sinergia presentes na organização e sistematização. Em seguida serão analisadas as obras selecionadas para identificar as contribuições metodológicas das teorias desenvolvidas por Stafford Beer.

4.2. BUCKMINSTER FULLER: DA GEOMETRIA ÀS GEODÉSICAS

O arquiteto Buckminster Fuller (1895-1983) passou por duas fases importantes no desenvolvimento de conceitos arquitetônicos, destacando-se seu conceito Dymaxion, a partir do qual desenvolveu projetos entre 1927 e 1948, (ver capítulo 2) e o conceito de Sinergia, a partir do qual desenvolveu suas geodésicas desde 1948 até a sua morte, perpetuando seu legado das geodésicas até os dias atuais em projetos de outros arquitetos. No Capítulo 2 da dissertação foi explorado o conceito Dymaxion, finalizando com a análise da residência chamada Máquina de Habitar Dymaxion (1944 e 1948). Neste projeto, Fuller já havia começado a explorar as formas geodésicas, sendo possível observar sua vivência em uma malha de cabos tensionados que se entrecruzavam para formar uma geodésica que ele usou na construção do seu telhado, ainda que de forma inicial (ver p. 65). Já este capítulo é direcionado à observação de seu segundo momento, que diz respeito ao conceito Sinérgico e à construção de suas geodésicas.

A força das geodésicas consiste na sinergia existente na sua estrutura, ou seja, nas relações entre as partes que compõe o todo, ou em suas próprias palavras: “Sinergia significa o comportamento de todo o sistema não previsto pelo comportamento de suas partes tomadas separadamente”¹⁵⁰ (FULLER apud EDMONDSON, 1987, p. 33, tradução nossa), assim sendo, para Fuller, a sinergia mostra que o comportamento de todo o sistema é diferente do comportamento de cada uma de suas partes isoladamente. Para Fuller, sinergia é como a natureza trabalha, com sistemas complexos surgindo através das interações entre as partes (EDMONDSON, 1987, p. 34). De acordo com Amy Edmondson, “Os princípios por trás dos domos geodésicos não são novos, eles são as eternas leis da natureza. A aplicação desses fatos geométricos para os sistemas construtivos é nova”¹⁵¹ (EDMONDSON, 1987, p. 240, tradução nossa), ou seja, para Edmondson, Fuller inovou ao trazer as condições geométricas da natureza para o sistema arquitetônico.

Para Fuller, trazer as leis da natureza para o processo arquitetônico implica entender o Universo e, para entender o todo, é necessário distinguir as

¹⁵⁰ Do original: “Synergy means the behaviour of the whole systems unpredicted by the behaviour of their parts taken separately” (FULLER apud EDMONDSON, 1987, p. 33).

¹⁵¹ Do original: “The principles behind the geodesic dome are not new; they are eternal laws of nature. The application of these geometric facts to a building system is new” (EDMONDSON, 1987, p. 240).

compreensões que Fuller fez em relação às conexões entre as partes e a importância disso na construção das geodésicas. Nos ideais de Fuller, pensa-se em eventos isolados, no entanto, compreender esses eventos, ou seja, as partes, interconecta-as, pois “Compreensão é estrutura”¹⁵² (FULLER apud EDMONDSON, 1987, p. 32, tradução nossa). A partir dessa apreensão, a importância da construção dessas redes se torna clara, posto que a “Geometria é a ciência dos sistemas, os quais são definidos por relacionamentos”¹⁵³ (EDMONDSON, 1987, p. 32, tradução nossa).

Para Fuller, os relacionamentos podem ser estruturados por meio de poliedros, em um esforço para se entender o comportamento de um sistema como o todo (EDMONDSON, 1987, p. 33), ou seja, seus poliedros representam de forma tridimensional as relações entre as partes que compõe o todo, e, portanto, a estrutura só se forma porque há sinergia em seu sistema.

As interações entre as partes também é representada sinergicamente por meio da recursividade da natureza, segundo as palavras do autor:

É uma hipótese de sinérgica que forças em estruturas macrocósmicas e microcósmicas interagem da mesma maneira, movendo-se em direção aos padrões de equilíbrio mais econômico. Ao abraçar todos os fenômenos energéticos da experiência física total, a sinérgica fornece um único sistema coerente de princípios geométricos e assegura uma vantagem metafísica e evolutiva para toda a contabilidade e prospecção experienciais¹⁵⁴ (FULLER, 1975-79, p. 209.00, tradução nossa).

Há uma rede de interações que conecta as partes de um sistema, promovendo a conexão de um sistema a outros, formando redes complexas, gerando coevolução entre as várias escalas.

Em seus estudos, Fuller encontrou sinergia nos poliedros e destacou a harmonia existente no icosaedro. Um icosaedro possui 12 vértices, 30 arestas e 20 faces. É o único poliedro do qual sai o maior número de arestas possíveis de um

¹⁵² Do original: “Understanding is structure” (FULLER apud EDMONDSON, 1987, p. 32).

¹⁵³ Do original: “Geometry is the science of systems-which are themselves defined by relationships” (EDMONDSON, 1987, p. 32).

¹⁵⁴ Do original: “It is a hypothesis of synergetics that forces in both macrocosmic and microcosmic structures interact in the same way, moving toward the most economic equilibrium patternings. By embracing all the energetic phenomena of total physical experience, synergetics provides for a single coherent system of geometric principles and secures a metaphysical and evolutionary advantage for all experiential accounting and prospecting” (FULLER, 1975-79, p. 209.00).

mesmo vértice, cinco arestas. Sua construção é feita por triângulos equiláteros, ou seja, de dimensões iguais e ângulos iguais de 60° . Saindo cinco arestas de um mesmo vértice, estas formam cinco triângulos equiláteros, o que forma 300° de extensão e, portanto, forma uma pirâmide com base pentagonal. Caso mais um triângulo fosse adicionado a esse vértice, teríamos um ângulo de 360° e essa estrutura piramidal viraria um plano. Além desse aspecto, um icosaedro possui uma simetria ímpar e, portanto, é possível rotacioná-lo para qualquer direção e ainda assim este manterá a sua proporção intacta (EDMONDSON, 1987, p. 53). O icosaedro apresenta cinco conjuntos de 6 arestas ortogonais, ou seja, três pares paralelos de arestas mutuamente perpendiculares, como mostra a figura a seguir (Figura 51) (EDMONDSON, 1987, p. 165).

Figura 51 - Icosaedro

Legenda – Icosaedro: cinco conjuntos de 6 arestas ortogonais (Vazio, cheio, triangulado, pontilhado e segmentado), que formam três conjuntos de planos através dos segmentos paralelos, ou seja, são 15 planos em total.

Fonte: EDMONDSON, 1987, p. 165.

Além da sinergia, conexões entre as partes e a força do icosaedro, Fuller expandiu seus conceitos ao criar a palavra *tensegrity* (tensegridade), a qual é formada pela união das palavras tensão e integridade. Na natureza essa força existe, no entanto, não é muito fácil enxergá-la (EDMONDSON, 1987, p. 245), pois estamos acostumados a trabalhar com as forças de compressão ao estipular nossas estruturas arquitetônicas (EDMONDSON, 1987, p. 244). Fuller definiu que:

A Tensegridade descreve um princípio de relacionamento organizacional em que a forma estrutural é garantida pelos comportamentos tensionais finamente fechados e compreensivamente contínuos do sistema e não pelos comportamentos de membros de compressão descontínuos e exclusivamente locais¹⁵⁵ (FULLER, 1975-79, p. 700.011, tradução nossa).

Dessa forma, a tensegridade de um sistema é dada através da estrutura que se organiza por meio das relações, a qual apresenta resistência mediante as tensões que envolvem todo o sistema, e não é afetada pelas compressões que ocorrem de forma local. Assim sendo, a tensão apresenta-se como provedor da sinergia, pois suas partes conectadas formam um todo coeso, o que não aconteceria se a força que regesse o comportamento do sistema interferisse nas partes.

Para Fuller, tanto a força de tensão, quanto a de compressão são inseparáveis pelo fato de estarem sempre combinadas (EDMONDSON, 1987, p. 244), entretanto, isso não significa que elas sejam as mesmas, aliás, elas devem possuir diferenças fundamentais para que haja uma interdependência bem sucedida (EDMONDSON, 1987, p. 245).

À vista da exploração do conceito de sinergia por meio de tensão estrutural, trazendo uma harmonia para a geometria do todo, temos que:

O outro aspecto da força notável de uma tensegridade é a rápida distribuição onidirecional das forças aplicadas. Uma das vantagens de uma rede de elementos de tensão é a dispersão eficiente da carga em torno da estrutura, permitindo que todo o sistema resista a forças muito maiores do que poderiam ser previstas pela análise de engenharia dos componentes separados¹⁵⁶ (EDMONDSON, 1987, p. 253, tradução nossa).

A força de tensão é direcionada para toda a organização. Essa rede de conexões que se forma permite que as cargas se distribuam uniformemente, de maneira que a estrutura de um icosaedro seja mais resistente ainda.

¹⁵⁵ Do original: "Tensegrity describes a structural-relationship principle in which structural shape is guaranteed by the finitely closed, comprehensively continuous, tensional behaviors of the system and not by the discontinuous and exclusively local compressional member behaviors" (FULLER, 1975-79, p. 700.011).

¹⁵⁶ Do original: "The other aspect of a tensegrity's remarkable strength is the rapid omnidirectional distribution of applied forces. One of the advantage of a network of tension elements is efficient dispersal of load around structure, enabling the whole system to withstand forces far greater than could be predicted by engineering analysis of the separate components" (EDMONDSON, 1987, p. 253).

Visto a importância das geodésicas, tanto na organização matemática de um poliedro, quanto na organização de agentes dentro de um sistema, promovendo sinergia através de uma rede de conexões, os projetos a serem analisados se tornam relevantes pela possibilidade de viabilizarem o sistema em função dessas características. Dentre seus projetos geodésicos, analisaremos duas obras, que expõem o modo de viver de Fuller, bem como o auge de sua carreira. O primeiro a ser analisado foi a sua própria casa, em que ele e sua esposa, Anne Hewlett Fuller (1896 – 1983), viveram de 1960 a 1971 em Carbondale, Illinois. O segundo projeto foi o que o consagrou como o pai das geodésicas, localizado em Montreal, Canadá, para a exposição de 1967.

GEODÉSICAS: CONCEITO SINERGÉTICO

No capítulo 2, observamos os projetos de Buckminster Fuller sob o ponto de vista do conceito Dymaxion, fechando-o com a análise da Wichita House, que se apresentou como um objeto ideal frente à ciência da máquina ideal de Ashby. No entanto, em seu segundo momento, Fuller avançou em suas teorias, trazendo elementos consistentes à Cibernética de Segunda Ordem, de forma prévia à consolidação dos ideais de Beer, até mesmo provendo conceitos para a estrutura do *Syntegrity* de Beer. Embora suas ideias sejam precedentes aos de Beer, neste período houve uma mudança coletiva de pensamento, alterando os paradigmas da época, pois o avanço das tecnologias permitiu a observação a Terra de fora, trazendo uma conscientização sobre a fragilidade do planeta. Além disso, a crise do petróleo em 1973 e a consolidação da Ecologia de Ecossistemas como uma disciplina fora da Biologia conduziram à preocupação com os recursos naturais e levaram à busca de uma construção de sociedades coletivas e colaborativas. Portanto, julgamos relevante examinar e expor suas obras, mais uma vez, porém, sob outra perspectiva.

O objetivo de Fuller era diminuir os impactos causados no meio ambiente através da inserção de outra forma de se projetar. Devido à industrialização e ao conceito de máquina de habitar do Estilo Internacional, que não satisfazia seus ideais, ele desenvolveu o conceito Dymaxion (para mais informações, ver o Capítulo

2). No entanto, com a mudança de pensamento após a Segunda Guerra Mundial, Fuller se debruçou sobre o conceito Sinérgico para a construção de geodésicas, que podiam colaborar na responsabilidade da arquitetura com o meio ambiente (BALDWIN, 1996, p. 62).

De acordo com James Tennant Baldwin¹⁵⁷, Fuller entendeu que os sistemas políticos eram incapazes de alterar o comportamento das pessoas para que todos tivessem a oportunidade de ter uma boa vida, portanto, criou um movimento chamado “[...] revolução da ciência do *design*”¹⁵⁸ (BALDWIN, 1996, p. 62, tradução nossa), na tentativa de distribuir devidamente os recursos entre as pessoas, além de preservá-los (BALDWIN, 1996, p. 62).

A ciência do *design* compreendia a máxima eficiência e o menor custo para a sociedade e para o meio ambiente, e para tal, era necessária uma extensa pesquisa onidisciplinar (BALDWIN, 1996, p. 63), de forma a abranger um entendimento holístico do sistema.

Segundo os pensamentos de Fuller, a natureza não deveria ser conquistada, mas sim considerada como um modelo de princípios aplicados, posto que ela realiza seus processos de maneira mais eficiente e econômica, de modo que, segundo ele, “Precisamos aprender como a natureza toma decisões de *design*”¹⁵⁹ (BALDWIN, 1996, p. 63, tradução nossa).

Em sua tentativa de descobrir quais eram as coordenadas que regiam o Universo, Fuller investigou as relações matemáticas do número Pi (π), as quais não lhe pareceram possíveis de reger o Universo, pois nada é exatamente circular. Passou, então pelo Phi (ϕ), o qual ele observou estar bastante presente na natureza, nas espirais áureas e outras proporções, o que o levou para os poliedros e conseqüentemente às geodésicas, as quais aparentam espirais que vão de encontro ao vértice mais superior. Para Fuller, as geodésicas eram sinérgicas, e, portanto, a

¹⁵⁷ James Tennant Baldwin (1933-2018): nascido nos Estados Unidos, Jay Baldwin se formou em desenho industrial e automobilístico na Universidade de Michigan, mas atuou como arquiteto. Em 1951, participou de uma apresentação de Buckminster Fuller que durou 14 horas ininterruptas, inspirando-o a trabalhar com Fuller, e seus ideais. Participou como editor na revista ‘*Whole Earth Catalog*’ com Fuller e na ‘*New Alchemists*’ com o biólogo John Todd. Inventou a geodésica com membrana chama *Pillow Dome* e escreveu livros sobre Buckminster Fuller e o seu trabalho.

¹⁵⁸ Do original: “[...] design science revolution” (BALDWIN, 1996, p. 62). A palavra *design* não foi traduzida porque representa mais significado em inglês do que a tradução em português como projetar, mantendo assim o original de forma a não perder o significado pleno da revolução de Fuller.

¹⁵⁹ Do original: “We need to learn how nature makes design decision” (BALDWIN, 1996, p. 63).

natureza empregava estruturas geodésicas para conseguir máxima força e proteção (BALDWIN, 1996, p. 69).

A beleza de um icosaedro é a maneira como esta forma tridimensional se estrutura. Para Fuller, a força de resistência de um triângulo deveria ser o dobro de um retângulo, posto que o segundo se dobre ao fazer pressão enquanto que o primeiro mantém-se estável. Assim sendo, os triângulos guiaram o desenvolvimento das geodésicas, em forma de uma esfera construída por meio de triângulos, o que traria uma força singular. Para tanto, o triângulo foi escolhido pela resistência e a esfera pelo fato de que promove um maior volume, tendo mais espaço coberto com menos material usado (BUCKMINSTER FULLER INSTITUTE, 2019).

Para Fuller, os padrões de espirais e geodésicas estão na natureza, e esses padrões são uma função de tempo-espaço, sendo formas mais eficientes por requererem o mínimo uso de energia, apresentando-se como mais fortes e competentes na construção de estruturas arquitetônicas (AWAKEN THE WORLD FILM, 2012). À vista disso, Fuller entendia o tempo com certas convicções, tais como: “‘Tamanho’ refere-se a sistemas reais, dependentes do tempo, enquanto ‘forma’, é influenciada apenas por ângulos e, portanto, independente do tempo”¹⁶⁰ (EDMONDSON, 1987, p. 66, tradução nossa). Sendo assim, o tamanho depende do momento real em que foi avaliado, pois entende que a medida sinérgica, em termos de frequência, define a distância de um ponto ao outro em relação ao tempo, posto que o tempo seja concebido pela repetição (EDMONDSON, 1987, p. 67). Assim, ao medir uma distância em passos, a frequência de passos dados para a medida é representada pelo tempo em que esta foi realizada (EDMONDSON, 1987, p. 66).

Dessa forma, para Fuller, “Modulação de ângulo e frequência definem exclusivamente todas as experiências, quais eventos que juntos constituem o Universo”¹⁶¹ (FULLER, 1975-79, p. 208.00, tradução nossa).

As geodésicas de Fuller são desenvolvidas através de icosaedros, em que os planos triangulares são subdivididos por meio da frequência de Fuller, de forma triangulada. A figura 52 mostra o processo:

¹⁶⁰ Do original: “‘Size’ relates to real, time-dependent systems, whereas ‘shape’, influenced only by angle and therefore independent of time” (EDMONDSON, 1987, p. 66).

¹⁶¹ Do original: “Angle and frequency modulation exclusively define all experiences, which events altogether constitute Universe” (FULLER, 1975-79, p. 208.00).

Figura 52 – Formação da geodésica

Legenda – À esquerda, icosaedro com subdivisão pela frequência de Fuller, à direita, geodésica com projeção da superfície.

Fonte: EDMONDSON, 1987, p. 235 e 237. Redesenhado pela autora.

Após a subdivisão (Figura 52 à esquerda), é feita a projeção da superfície de forma que a geodésica se estrutura, aparentando uma esfera (Figura 52 à direita). A decomposição do icosaedro permite maior flexibilidade ao poliedro, sendo a base para o processo de Fuller, em que as subdivisões, ou seja, as frequências, apenas mudam as proporções, mas se consolidam de forma semelhante. A Figura 53 mostra como é feita a projeção da superfície após a subdivisão da face em 16 outros triângulos. Com isso surgem as sequências de pentágonos provenientes da intersecção dos triângulos maiores, e hexágonos dentro desses planos, formados pela decomposição.

Figura 53 – Face do Icosaedro

Legenda – Projeção da superfície da face triangular após subdivisão.

Fonte: EDMONDSON, 1987, p.236.

Em meados de 1948, Fuller foi convidado para dar um curso de verão na *Black Mountain College*, onde fez seu primeiro teste prático para a construção de uma geodésica sob os conceitos de sinergia, conjuntamente com os estudantes. No entanto, a elevação da estrutura não foi finalizada, pois sua conformação não era matematicamente coesa. Essa geodésica foi chamada de *Supine Dome* (BLACK MOUNTAIN COLLEGE, 2019). Durante o inverno de 1948 e 1949, Fuller lecionou no *Institute of Design*, em Chicago, sendo convidado para mais um curso de verão na *Black Mountain College* em 1949. Durante as aulas em Chicago, Fuller desenvolveu, junto com os alunos, um modelo geodésico baseado no icosaedro, chamado *Autonomous Dwelling Facility*. Em meados desse ano, ele e os estudantes do curso de verão conseguiram erguer a estrutura de forma consistente, chamando-a de *Autonomous Dwelling Unit* – Figura 54 (BLACK MOUNTAIN COLLEGE, 2019).

Figura 54 – A Primeira Geodésica de Fuller

Legenda – Montagem da geodésica *Autonomous Dwelling Unit* no curso de verão de 1949 na *Black Mountain College*.

Fonte: BLACK MOUNTAIN COLLEGE, 2019.

A imagem mostra a força da estrutura ao sustentar os estudantes e Fuller, que testam os nós que interligam as arestas da construção.

Essa primeira conquista foi o início de outra significação para a Arquitetura, pois a evolução de suas geodésicas influenciou o mundo, havendo mais de 200.000 geodésicas espalhadas pelo planeta, sendo considerada a forma arquitetônica que mais foi construída (KEATS, 2016, p. 18).

A seguir encontram-se algumas imagens dos projetos analisados para a compreensão dos conceitos sinérgicos desenvolvidos por Fuller, figura 55.

Figura 55 – Geodésicas analisadas

Legenda – À esquerda, Residência de Anne e Buckminster Fuller (1960-1971), à direita, Pavilhão Americano da Feira Mundial de Montreal (1967).

Fonte: CARBONDALE TOURISM, 2018 e SOCIÉTÉ DU PARC JEAN-DRAPEAU INC., 2019.

Esses projetos foram selecionados devido à sua importância, a primeira geodésica é a única residência que Fuller construiu para ele e a família e a segunda geodésica foi uma das primeiras de grande porte de Fuller, projetando, tanto o arquiteto, quanto a forma geodésica, para o mundo.

GEODÉSICAS: DA RESIDÊNCIA DE FULLER AO PAVILHÃO AMERICANO

A seguir serão explorados os dois projetos de Fuller seguindo sua cronologia de execução, com o objetivo de se compreender o uso da sinergia do sistema e da construção de redes de conexões relacionados à viabilidade do sistema, além das questões ambientais e econômicas levantadas pelo arquiteto.

O primeiro projeto foi a **Residência de Anne e Buckminster Fuller**, a qual foi construída em 19 de Abril de 1960, na cidade de Carbondale, em Illinois (Figura 56). Fuller foi convidado para ser professor na Escola de Arquitetura da Southern Illinois University Carbondale (SIU), na qual deu aulas entre

Residência de Anne e Buckminster Fuller

Realizado em 1960.

Dados do projeto:

- Para uma família.
- Planta circular
- Pav. Térreo:
 - sala de estar, quarto, closet, banheiro e cozinha
- Pav. Superior:
 - Biblioteca e escritório
- Paredes de compensado (método construtivo de woodframe)
- Janelas e portas em vidro
- Aproveitamento de Iluminação e ventilação
- Geodésica proveniente do icosaedro com triangulação
 - Cada face foi subdividida em 9 triângulos equiláteros
 - Cada triângulo foi estruturado em 2 triângulos isósceles.
 - 12 metros de diâmetro
 - 5 metros de altura

1960 a 1971. Ao deixar a Universidade se mudou da casa, e por três décadas os estudantes da universidade a alugavam como moradia (LAU, 2014).

Figura 56 – Localização de Carbondale, Illinois, EUA.

Legenda – Localização da Residência de Anne e Bucky Fuller.
Fonte: Google Maps.

A residência passou a ser de propriedade de Bill Perk em 2001, professor que lecionou na SIU no mesmo período de Fuller, e que instalou uma cobertura de domo fabricada para proteger a casa das intempéries ambientais. Em Julho de 2002 ele a doou para a organização sem fins lucrativos, RBF Domes, da qual ele é membro fundador, transformando a residência em um museu (FULLER DOME HOME, 2019). Em Fevereiro de 2006, a residência foi inserida no Registro Nacional de Locais Históricos e a RBF Domes realizou um planejamento para a restauração do local, constituído de três etapas, a primeira etapa era a restauração externa da casa, a segunda a restauração interna e a terceira a restauração do quintal. A restauração encontra-se, no momento, na segunda etapa, a qual foi iniciada em meados de 2018, buscando manter o interior o mais próximo possível do original (THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019).

A estrutura possui 12 metros de diâmetro, com 5 metros de altura, as paredes externas de baixo foram pintadas de azul e as de cima de branco, para sugerir um veleiro navegando em um oceano. O icosaedro subdividido, ou seja, com faces pentagonais e hexagonais, conforma-se em apenas 5 faces verticais, compostas por retângulos, nas quais localizam-se as aberturas principais. Essas aberturas

permitem grande entrada de luz na residência, diminuindo o uso de lâmpadas durante o dia. Há também 10 pequenas aberturas no telhado, nas faces triangulares da segunda linhaagem do domo, permitindo a ventilação (O'DELL, 2015).

A estrutura composta por 60 triângulos isósceles que formavam os triângulos equiláteros, foi construída com painéis de madeira compensada medindo entre 2 e 2,5 metros (LAU, 2014), preenchida internamente com fibra de vidro e revestida com folha metálica, para permitir o controle da temperatura externa (THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019). Na restauração realizada atualmente, foram feitos reforços na estrutura com madeira laminada colada, preenchimentos com isopor e revestimentos metálicos para controle da temperatura interna (THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019). Para a restauração, o projeto foi redesenhado para entender sua estrutura em detalhes e repassá-los aos que iriam executar a obra, como pode ser visto a seguir (Figura 57).

Figura 57 – Desenho da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Fonte: Desenho feito por Thad Heckman em 2011. O'DELL, 2015.

A residência foi configurada em dois níveis, o térreo e o mezanino. No pavimento térreo, na porção sul, encontra-se a sala de estar com pé direito duplo, já na outra metade da residência encontra-se, à oeste, a cozinha, à norte o quarto com um closet e um banheiro, à leste, um banheiro social e um depósito. No pavimento superior, subindo pela escada situada no centro da geodésica, no meio da sala de

estar, encontra-se a biblioteca e área de estudos, que ocupam a porção norte da geodésica.

A Residência foi a única geodésica em que Fuller morou com a sua esposa Anne, além de ter sido a única casa que construiu para si – Figura 58.

Figura 58 – Interior da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Legenda – À esquerda, Anne e Buckminster Fuller na sala de estar do pavimento térreo, à direita, Fuller na Biblioteca e área de estudos do pavimento superior.

Fonte: LAU, 2014, foto tirada por Bem Gelman.

A estrutura da geodésica foi construída em sete horas (O'DELL, 2015), com a confecção dos triângulos e a montagem realizadas no local. Fuller foi com seus alunos no momento da execução (O'DELL, 2015), todos puderam observar e ajudar no processo de fabricação da residência, como mostram as Figuras 59 e 60 a seguir.

Figura 59 – Fundação da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Fonte: O'DELL, 2015.

Figura 60 – Construção da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Legenda – À esquerda, fundação pronta recebendo módulos triangulares do icosaedro truncado, à direita, estrutura externa completa.

Fonte: O'DELL, 2015.

Fuller e sua esposa Anne viveram na residência por 11 anos, desde a sua construção em abril de 1960, sem necessidade de alterações. A seguir a residência passou a ser alugada para estudantes da universidade, que a usavam como moradia, e nesses 30 anos de uso, as características iniciais se perderam, tais como

acabamento de piso e paredes. A estrutura da casca geodésica se manteve firme e seus travamentos consistentes, no entanto, houve uma manutenção em parte do telhado, perdendo um pouco da curvatura geodésica e da força estrutural (LAU, 2014). Mesmo assim, a casa continua forte após quase 60 anos de existência, tendo sido considerada relevante para o registro nacional histórico, além de estar sendo restaurada para virar o museu. O processo pode ser visto a seguir, nas Figuras 61, 62 e 63.

Figura 61 – Interior da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Legenda – Jon Davey, presidente da organização RBF Domes, explicando o processo de restauração a ocorrer na etapa dois.

Fonte: DUNCAN, 2015.

Jon Davey¹⁶², presidente da RBD Domes, é responsável pela restauração da Casa de Anne e Buckminster Fuller, sendo o responsável por dar andamento a todas as etapas de recuperação do patrimônio.

¹⁶² Jon Davey (1952-): Formado em Arquitetura pela Southern Illinois University em Carbondale, é professor desde 1981, lecionando, portanto, por 35 anos na mesma universidade.

Figura 62 – Restauração da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Legenda – Ed Cook, da organização RBF Domes, explicando o processo de restauração do qual participa, dia 2 em 12 de julho de 2018.

Fonte: THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019.

O primeiro dia da restauração foi registrado em 11 de julho de 2018. Na imagem anterior é possível observar o segundo dia de restauração, em 12 de julho de 2018, com uma imagem de Ed Cook, membro da organização RBF Domes e entusiasta de geodésicas, explicando o interior da construção, da qual ele participa do processo de restauração.

Figura 63 – Processo de Restauração da Residência de Anne e Buckminster Fuller

Legenda – Processo de restauração da Casa de Anne e Buckminster Fuller. À esquerda: dia 8 (19/07/2018); à direita: dia 16 (3/08/2019).

Fonte: THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019.

Atualmente a construção encontra-se com praticamente todas as paredes restauradas, com a parte elétrica refeita, bem como o revestimento interno das paredes. Na atualização de 1º de janeiro de 2019 a obra se apresenta com paredes

Pavilhão Americano

Realizado em 1967.

Dados do projeto:

- Para a Feira Mundial em Montreal
- Planta circular
- Aproveitamento de 2/3 da esfera geodésica
- Estrutura em aço soldado
- Revestimento com 1.900 células de acrílico [que foram incendiadas em 1976].
- 4 plataformas autônomas para exposição com acesso por escada rolante
- Acesso por nível de pedestre ou por trilhos
- 76 metros de diâmetro
- 62 metros de altura

refeitas, faltando refazer o piso, hidráulica, cozinha, móveis e demais processos, como pode ser observados nos vídeos da restauração (THE MECHANICAL PHILOSOPHER, 2018-2019).

O segundo projeto analisado foi o **Pavilhão Americano** construído para a Feira Mundial realizada em Montreal, Canadá, em 1967. Essa feira abrigou pavilhões de todo o mundo, que foram desmontados posteriormente e remontados em outros locais, com exceção da geodésica, que ao invés de ter sua estrutura parafusada, foi soldada de forma que não pudesse ser desmontada, e sim vendida para o Canadá (BALDWIN, 1996, p. 166). O Pavilhão Americano, desenvolvido por Fuller, foi construído na margem Oeste do Rio São Lourenço, e na oposta encontrava-se o Pavilhão da União Soviética, que na época estava em plena Guerra Fria com os Estados Unidos. De acordo com Jonathan Massey, a rivalidade se materializou através dos dois pavilhões (MASSEY, 2016, p. 795). Outro pavilhão de destaque na Feira Mundial, além da Geodésica de Fuller, foi o Pavilhão Alemão de Frei Otto, que se configurava em uma membrana repuxada em altos e baixos com aberturas, considerada como a única rival de Fuller, em termos arquitetônicos (BALDWIN, 1996, p. 166), como mostra a Figura 64 a seguir.

Figura 64 – Feira Mundial em 1967

Legenda – Feira Mundial de Montreal, 1967, vista aérea.

Fonte: LANOIX, 2019, alterada pela autora.

Com sua empresa *Geometrics Inc.*, Fuller e Shoji Sadao, arquiteto japonês, projetaram essa geodésica, construída para a Feira Mundial (MASSEY, 2016, p. 795). Esta possuía uma conformação do icosaedro, com faces planas trianguladas, composto por pentágonos na camada externa adicionados de hexágonos advindos da frequência de Fuller, além da camada interna composta por hexágonos. A edificação possui 76 metros de diâmetro e 62 metros de altura, com estrutura feita de aço. Fuller usou duas camadas de domos conectadas como uma treliça espacial entre os domos (WIKIPEDIA, 2018).

Ao observarmos a geodésica, nos perguntamos onde o icosaedro transporece em meio a uma estrutura com tamanhas proporções. A seguir encontram-se algumas figuras que salientam o icosaedro e a subdivisão triangular, figura 65.

Figura 65 – Desenho do Pavilhão Americano

Legenda - À esquerda: Implantação. À direita: Elevação.
Fonte: FULLER, 1985, p. 102-103, alterada pela autora.

Podemos observar na Implantação e na Elevação da obra, marcados em amarelo, os pontos de intersecção, ou seja, os vértices dos quais saem cinco arestas que vão formar os triângulos do poliedro, e as subdivisões triangulares que formavam os hexágonos projetados.

A camada interna era revestida de células de acrílico transparentes equipadas com protetores solares, com sistema de sombreamento autorregulado, usadas para gerar eficiência de condicionamento do ar por meio de controle termostático, de forma a se “[...] aproximar de um sistema de controle ambiental totalmente cibernético”¹⁶³ (MASSEY, 2016, p. 796, tradução nossa). Bem como o Homeostato

¹⁶³ Do original: “[...] to approximate a fully cybernetic environmental control system” (MASSEY, 2016, p. 796).

de Ashby e a ciência da máquina ideal, o Pavilhão Americano possuía internamente quatro plataformas autônomas, com monitores que mostravam a cultura americana, além do programa espacial desenvolvido nos Estados Unidos. A geodésica se destacou nos jornais internacionais, trazendo a Fuller um reconhecimento mundial pela sua obra, sendo considerada como “[...] uma obra-chave da arquitetura moderna do pós-guerra”¹⁶⁴ (MASSEY, 2016, p. 795, tradução nossa).

Após a Feira Mundial, os Estados Unidos doaram a estrutura de Fuller para a cidade de Montreal, que tomou posse da geodésica em 31 de Janeiro de 1968. Esta permaneceu no mesmo local, sem alterações, funcionando, ao longo de oito anos, como um espaço de exposições de arte, coleções de aves e temas de jardinagem, incluindo atividades familiares e exibições de filmes e peças de teatro (SOCIÉTÉ DU PARC JEAN-DRAPEAU INC., 2019). No entanto, em 1976, durante uma manutenção na solda da estrutura, algumas faíscas atingiram as 1.900 células de acrílico que revestiam a geodésica iniciando um incêndio que queimou, por meia hora, todo o domo, de forma incontrollável (MTL BLOG, 2019), como mostra a Figura 66.

Figura 66 - Incêndio na geodésica de Montreal, em 1976

Fonte: CURATOR, 2013 e MAGGIE, 2012.

Desde então o prédio passou por tudo! Durante 14 anos o edifício foi pouco usado, devido ao incêndio e à impossibilidade de se refazer o revestimento da geodésica, por questões financeiras. Em 1990, a empresa *Environment Canada*

¹⁶⁴ Do original: “[...] a key work of postwar modern architecture” (MASSEY, 2016, p. 795).

comprou o edifício e o reabriu em 1995, nomeando-o como Biosfera, permanecendo sua casca aberta e inalterada tendo sido reconstruído apenas o interior e transformado em um museu da água, com espaços interativos e educativos a respeito dos ecossistemas aquáticos em torno da geodésica, demonstrando manejos sustentáveis e eco tecnologias (MTL BLOG, 2019). Em 1998, o edifício foi congelado em uma nevasca, permanecendo fechado por cinco meses (MTL BLOG, 2019), no entanto, a estrutura geodésica, com sua sinergia entre as partes e a integridade das tensões existentes, manteve a estrutura íntegra, a qual permanece assim até os dias atuais.

O objetivo para a geodésica, na perspectiva de Fuller e demais envolvidos, era “[...] criar um fórum deliberativo transnacional, em que cidadãos do mundo usariam a tecnologia da informação americana para modelar uma distribuição global de recursos mais igualitária”¹⁶⁵ (MASSEY, 2016, p. 795-796, tradução nossa).

Esse pensamento foi bastante ousado frente às disputas da Guerra Fria presentes naquele momento histórico, trazendo para a arquitetura oportunidades de rever modos de organização social. No entanto, essa forma de se sobressair ao resto do mundo foi criticada, pois muitos queriam enaltecer a guerra fria e o desgosto pelo comunismo. Assim, como estratégia, Fuller “[...] mobilizou a metáfora orgânica do recinto homeostático para projetar uma visão da sociedade americana, reorganizada de forma a exceder o sistema soviético em eficiência e igualdade” (MASSEY, 2016, p. 797, tradução nossa).

Massey descreve a geodésica de Fuller como uma estrutura híbrida, em que a organização espacial de tetraedros soldados formou um padrão triangular em espiral na camada externa do edifício e um mosaico composto por hexágonos na camada interna, com uma distância de aproximadamente um metro entre essas camadas. Os painéis convexos de acrílico, chamados por Fuller de ‘quebra-cabeças’, eram somados aos triângulos motorizados que eram controlados automaticamente por sensores de luz, para proteger os ocupantes de luz direta (MASSEY, 2016, p. 797). Fuller previu um controle térmico interno que se aproximasse do controle biológico:

¹⁶⁵ Do original: “[...] to create a transnational deliberative forum in which world-citizens would use American information technology to model a more egalitarian global distribution of resources” (MASSEY, 2016, p. 795-796).

De certa forma, o Pavilhão Americano exemplificou o ideal funcionalista da arquitetura moderna como um conjunto de técnicas de melhoria progressiva para a mediação entre o ambiente natural e o corpo humano. Foi um teste em grande escala da abordagem de Fuller aos edifícios como ‘válvulas ambientais’ que regulam as transmissões de energia, luz, ar, umidade e informações entre o interior e o exterior. Fuller concebeu-o como um protótipo para estruturas de válvulas mais abrangentes que permitiriam que ‘comunidades futuras inteiras’ vivessem em ambientes hostis à vida humana¹⁶⁶ (MASSEY, 2016, p. 797, tradução nossa).

Fuller desenvolveu o projeto de maneira que as condições fisiológicas de um corpo humano fossem representadas pelo edifício, havendo adaptações do mesmo frente aos estímulos externos. Seu ideal era testar maneiras de construir espaços que permitissem a sobrevivência do homem em qualquer ambiente hostil, frente à corrida espacial entre a União Soviética e os Estados Unidos (MASSEY, 2016, p. 797).

Sua proposta era que a geodésica fosse composta de maneira a parecer células de uma epiderme, em que algumas respirassem e outras iluminassem, apresentando-se como uma pele sensível humana:

Fuller previu que, assim como algumas células epidérmicas são especializadas em detectar luz, som ou calor, as futuras cúpulas geodésicas teriam ‘poros’ marcadamente diferenciados, efetuando mais plenamente a premissa cibernética do sistema de controle ambiental do Pavilhão Americano¹⁶⁷ (MASSEY, 2016, p. 798-799, tradução nossa).

Essa configuração de características adaptativas biológicas reflete a busca de Fuller pela aproximação com as características existentes no meio ambiente, desde uma escala como o corpo humano até a projeção na escala de um edifício. A possibilidade de realizar um edifício com essas características consolidou outro

¹⁶⁶ Do original: “In some ways, the US Pavilion exemplified the functionalist ideal of modern architecture as a set of progressively improving techniques for mediating between the natural environment and the human body. It was a large-scale test of Fuller’s approach to buildings as ‘environmental valves’ regulating transmissions of energy, light, air, moisture, and information between interior and exterior. Fuller conceived it as a prototype for more comprehensive valving structures that would allow ‘whole future communities’ to live in environments hostile to human life” (MASSEY, 2016, p. 797).

¹⁶⁷ Do original: “Fuller predicted that just as some epidermal cells are specialized to sense light, sound, or heat, so future geodesic domes would have markedly differentiated ‘pores’ implementing more fully the cybernetic premise of the US Pavilion’s environmental control system” (MASSEY, 2016, p. 798-799).

aspecto já que “[...] o Pavilhão da Expo prometeu criar um ambiente aperfeiçoado – um ‘Jardim do Éden’”¹⁶⁸ (MASSEY, 2016, p. 799, tradução nossa).

Dessa forma, Fuller predicava um modo de vida, em que era possível controlar o meio ambiente para torná-lo habitável, em qualquer condição externa, chamando-o de Jardim do Éden, como um paraíso a ser ocupado. Sendo assim, sua geodésica é considerada parte da Arquitetura Orgânica norte-americana, junto com obras de Louis Sullivan, Frank Lloyd Wright, Claude Bragdon, entre outros, “[...] que usaram a natureza como base para práticas de design que pretendiam melhor realizar o ideal político da democracia no âmbito do contexto social e tecnológico da sociedade de massa industrial”¹⁶⁹ (MASSEY, 2016, p. 800, tradução nossa). A arquitetura organicista, foi levada pelo movimento de preservação dos recursos e da corrida espacial e pretendia gerar espaços que refletissem condições biológicas, mas também a construção de outro tipo de organização social de modo mais democrático à civilização, e: “Embora sua abordagem cibernética fosse nova, Fuller seguiu esses precursores usando a metáfora orgânica para intervir criticamente no processo de modernização”¹⁷⁰ (MASSEY, 2016, p. 800, tradução nossa).

Segundo Massey, Fuller encontrou no Universo, modelos de uma admirável eficiência para a reorganização social:

[...] Fuller continuou a encontrar na ‘natureza’, modelos de bela eficiência com base nos quais alistaria os consumidores em um programa voluntário de reorganização social. Ao usá-lo para reconciliar o interesse pessoal individual com as necessidades coletivas, Fuller mobilizou a natureza para realizar a principal tarefa da política na sociedade democrática¹⁷¹ (MASSEY, 2016, p. 801, tradução nossa).

Portanto, Fuller se utilizou de modelos congruentes baseados nos princípios biológicos e em organizações ecológicas, disseminando suas propostas físicas e arquitetônicas no meio político em prol de uma sociedade democrática.

¹⁶⁸ Do original: “[...] the Expo pavilion promised to create a perfected environment—a ‘Garden of Eden’” (MASSEY, 2016, p. 799).

¹⁶⁹ Do original: “[...] used nature as the basis for design practices intended better to realize the political ideal of democracy within the social and technological context of industrial mass society” (MASSEY, 2016, p. 800).

¹⁷⁰ Do original: “Although his cybernetic approach was new, Fuller followed these precursors in using the organic metaphor to intervene critically in the process of modernization” (MASSEY, 2016, p. 800).

¹⁷¹ Do original: “[...] Fuller continued to find in ‘nature’ models of beautiful efficiency on the basis of which to enlist consumers in a voluntary programme of social reorganisation. By using it to reconcile individual self-interest with collective needs, Fuller mobilised nature to perform the major task of politics in democratic society” (MASSEY, 2016, p. 801).

Fuller difundia a necessidade de nos preocuparmos com os recursos biológicos e de organizarmos sistemas que fossem responsáveis, instituindo a ideia de que o intelecto humano tinha uma potencialidade infinita e a inovação tecnológica poderia aumentar exponencialmente a produção de recursos. Assim, ele considerava que, a população sendo maior que a produção necessária uma inversão para sua sobrevivência, resultando em abundância de insumos, além das necessidades da população (MASSEY, 2016, p. 801), ou seja, “Fazendo mais com menos”¹⁷² (FULLER apud MASSEY, 2016, p. 801, tradução nossa).

O Pavilhão Americano da Feira Mundial foi capaz de promover os ideais de Buckminster Fuller para o mundo, influenciando toda uma geração de arquitetos e engenheiros profissionais (MASSEY, 2016, p. 795). A seguir é possível observar na Figura 67 a situação atual da Biosfera de Montreal.

Figura 67 - Biosfera de Montreal nos dias atuais

Fonte: JÜRGEN e MIKE, 2019.

A geodésica ainda existe, em toda a sua força e eficiência, após 23 anos funcionando como Museu da Água. Apresenta um ecossistema aquático já bastante evoluído, compondo um importante espaço para a conscientização das pessoas, ademais de ser uma estrutura que representa a história da Feira Mundial de Montreal, com mais de 50 anos de existência.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA E O CONCEITO SINERGÉTICO

¹⁷² Do original: “Doing more with less” (FULLER apud MASSEY, 2016, p. 801).

Analizando a Casa de Anne e Buckminster Fuller e o Pavilhão Americano, ao considerar o processo como um ecossistema, podemos considerar que as entradas de informações escolhidas pelo arquiteto foram sinergia entre as partes e a luta pela conscientização de outro meio de organização social.

Com o direcionamento para a produção industrial da construção civil na década de 1960, o processo de projeto tinha por objetivo a produção de peças como kits construtivos, no entanto, esse tipo de desenvolvimento não atingiu o campo arquitetônico da forma que se imaginava (FRAZER, 1995, p. 15). Entretanto, a busca por processos biológicos e a bio inspiração já começaram a ser incorporados naquele período (FRAZER, 1995, p. 15). Buckminster Fuller sempre esteve à frente de seu tempo, aderindo às mudanças coletivas quando elas ainda estavam se consolidando na sociedade, e para tal, se propôs a buscar outros meios de materializar uma configuração social distinta, por meio de sua arquitetura, contribuindo para a formulação de uma ‘revolução da ciência do *design*’ (BALDWIN, 1996, p. 62). Fuller entendia que os sistemas políticos eram insuficientes para trazer igualdade à população e, para tal, propôs uma ciência de processo com o intuito de promover máxima eficiência com um menor custo, tanto para a sociedade, quanto para o meio ecológico. Ele tinha por objetivo usufruir dos modelos existentes na biologia para auxiliar do processo de projeto, e não destituir seus recursos (BALDWIN, 1996, p. 62). Embora Fuller tenha atuado antes e ao longo das proposições de Stafford Beer, suas contribuições foram relevantes para a mudança de paradigmas da época, levando à estruturação de uma arquitetura com intenções organizacionais, estabelecidas por meio de sistemas viáveis, em uma rede de comunicações sinérgicas.

Através das leituras realizadas, foi possível compreender o objetivo do arquiteto na produção de espaços de convivência. Foi possível detectar que Fuller trouxe para a sociedade qualidades colaborativas, sempre promovendo meios construtivos que fossem reduzindo a agressão ao meio ambiente, através da utilização de com sistemas construtivos leves, fáceis de serem montados e com baixo custo.

Foram pontuadas, de maneira geral, características de conceitos elaborados por Stafford Beer, a respeito da viabilização de sistemas, que se aproximam ao Sinérgico de Fuller:

❖ **Subsistemas:** Os subsistemas das organizações são definidos pelo desenvolvimento de uma geodésica, sendo que esta só é possível de ser erguida através da colaboração e coordenação do processo. São necessários operadores e gerentes, aqueles que fazem parte do processo de montagem em suas diversas funções, bem como aqueles que direcionam a equipe e observam, havendo também os observadores externos de todo o processo. Considerando a forma geodésica, esta é subdividida em subsistemas compostos pelos vértices e pelos conjuntos de arestas que interagem com os vértices, cada qual exercendo suas atividades e conectando-se com as demais. Relacionado ao *Team Syntegrity* cada vértice possui em torno de 20 conexões, ou seja, 12 subsistemas que se relacionam.

❖ **Participação colaborativa e Sinergia:** As geodésicas se configuram de forma que há partes que se conectam para formar um todo e, para isso, é necessário que haja participação colaborativa ao longo do processo, seja na construção da própria geodésica, seja no fortalecimento da união das partes, por meio de sinergia. Tanto na construção da Casa de Anne e Buckminster Fuller, como na do Pavilhão Americano, as geodésicas foram construídas por meio de colaboração, através de uma organização social sinérgica, como é possível observar no *Team Syntegrity*.

❖ **Coevolução:** A geodésica é um elemento em que, suas partes, para formar um todo, precisa de uma tensão geral do sistema, sendo assim, suas partes evoluem ao longo de seu processo de forma coordenada e coletiva, trazendo uma coevolução do todo.

❖ **Unidades Autônomas e Coesão:** As partes, ou unidades autônomas, são compostas pelos vértices, ou tópicos de discussão, e arestas, ou membros participantes, que se integram ao vértice. Os subsistemas ativos dentro do todo executam suas tarefas de forma coordenada e com autonomia, solucionando os problemas locais para que o sistema geral não pare de funcionar, garantindo uma coesão do todo.

❖ **Rede de interações:** as geodésicas formam uma rede de interações em que as partes se conectam, formando grandes triângulos subdivididos em seu corpo. Em relação ao Pavilhão Americano, o objetivo de Fuller era criar um espaço onde a tecnologia adquirida pudesse ser dividida e assim a população tivesse acesso a informações antes retidas, para que fosse compartilhado entre todos de forma a

conectar as partes, formando uma rede de interações. Como podemos observar no *Team Syntegrity*, há uma possibilidade de $n(n-1)$, sendo $n = n^o$ de membros, ou seja, $30 \times 29 = 870$ conexões, que formam uma rede complexa de uma organização social coletiva e participativa.

❖ **Hubs:** Os vértices de uma geodésica podem ser considerados como hubs, pois interagem com as arestas. No entanto, no caso do Pavilhão Americano, embora as arestas a sua volta não se conectem diretamente aos vértices, estes recebem toda a tensão relacionada à subdivisão dos triângulos, a partir da qual se constrói uma rede envolvendo os vértices. Com relação à organização social do *Team Syntegrity*, as pessoas que discutem um tópico diretamente são cinco, enquanto mais cinco críticos se conectam indiretamente, somados a 10 observadores, totalizando 20 pessoas na rede que incorporam um mesmo tópico, ou vértice.

❖ **Recursividade:** Os padrões organizacionais e a estrutura de subsistemas encontram-se reproduzidos dentro de um mesmo sistema, ou seja, desde uma escala local a uma escala global. Nas geodésicas, os triângulos menores, conectados a outros através de seis conexões, formam e fazem parte de outro triângulo maior, daqueles que foram conectados por cinco conexões. Ao mesmo tempo em que podemos entender a recursividade da menor escala à maior, também podemos encontrar o caminho decrescente, ou seja, as faces triangulares que formam o vértice podem ser subdivididas em vários outros triângulos menores, sendo, portanto o padrão triangular como o regente recursivo da geodésica. O mesmo ocorre com os subsistemas, havendo atividades semelhantes desde a escala do sistema ao subsistema, como visto na atualização de Beer em 1985, na qual ele descreveu que o Subsistema 1 tinha uma estrutura completa do sistema, atuando como um sistema próprio dentro de outro.

Fuller desenvolveu várias geodésicas, das quais foram analisadas duas nesta pesquisa que trazem grande relevância para o entendimento de suas propostas. As geodésicas de Fuller são importantes na demonstração de seus conceitos, seja em escala local ou global. As geodésicas vão mais longe que a Casas Dymaxion (capítulo 2), no sentido que integram além dos aspectos da cibernética de primeira ordem e aspectos da segunda ordem, trazendo uma mudança de paradigma em relação à observação. Ambos os projetos de Fuller empregam o conceito de habitat, em que as geodésicas incluem uma compreensão ampliada sobre o habitat na medida em que repensam a organização sistêmica no ambiente. Do ponto de vista

sinérgico, uma rede interconectada de várias geodésicas distribuídas no planeta, podem atuar como subsistemas ligados em padrões recursivos, instigando outros modos de vida, o que foi realizado no projeto que se segue, Projeto Éden.

4.3. SISTEMA VIÁVEL CONTEMPORÂNEO: PROJETO ÉDEN

A seguir encontra-se a análise do Instituto Botânico do Projeto Éden – Figura 68, próximo à cidade de St. Austell, na região da Cornoalha, Oeste da Inglaterra. Foi construído um conjunto de geodésicas projetadas parametricamente, que se caracterizam por abrigar um centro de educação ambiental e espaços para eventos e preservação de espécies e genes vegetais oriundos de expedições biológicas. A estrutura apresenta-se como um conjunto de subsistemas que formam um polo interconectado, funcionando como uma rede que permite interações entre os visitantes, mas também daqueles envolvidos na elaboração do Éden.

Figura 68 – Projeto Éden: Geodésicas parametrizadas

Fonte: Acervo pessoal da autora.

O projeto contemporâneo Éden, foi escolhido para reforçar os aspectos organizacionais e ecológicos de uma construção, o qual se estrutura por

subsistemas e construção de rede sinérgica entre suas partes. Aprofundamos e ampliamos assim os aspectos explorados através da Cibernética de Segunda Ordem e o desenvolvimento da geodésica por Fuller.

PROJETO ÉDEN

A análise do Instituto Botânico do Projeto Éden permite observar as características usadas como entrada pela equipe envolvida no desenvolvimento da proposta. A construção do processo se deu através da concepção de um sistema viável que permitisse a estruturação de subsistemas interdependentes conectados através de uma rede, seja na arquitetura ou na organização social ao longo do processo evolutivo do Instituto Botânico.

O Projeto Éden foi desenvolvido entre 1994 e 2000, tendo sido aberto à visita em 17 de março de 2001 (ROWE, 2018). O programa previu um espaço de preservação de espécies vegetais decorrentes de expedições realizadas por britânicos a várias partes do mundo no século XVII e que se encontravam instaladas em condições inadequadas, inclusive com risco de perda de espécies. O britânico e cofundador do Projeto Éden, Tim Smit, almejou ir além do fornecimento de um espaço de armazenamento, mas buscou também a conscientização dos visitantes e usuários sobre a importância dos ecossistemas biológicos para o avanço da humanidade, em suas próprias palavras:

[...] rezamos para que seja lugar de gozo e lugar de educação; um lugar onde nos lembramos de nossa responsabilidade, do poder que temos para destruir, assim como para criar e no qual nos lembramos

Projeto Éden

Local: St Austell, Cornoalha, Inglaterra
Data da conclusão do projeto: 2000
Fundadores: Tim Smit e Jonathan Ball
Arquiteto responsável: Grimshaw Architects
Engenheiro Estrutural: Anthony Hunt Associates
Serviços de engenharia: Ove Arup & Partners
Gerente de Projeto: Davis Langdon Management
Supervisores de Projeto: Land Architects
Construtora Principal: McAlpine Joint Venture
Arquitetura da Paisagem: Land Use Consultants
Materiais: as estruturas das geodésicas são em aço parafusado, e as películas de copolímero de etileno tetrafluoroetileno (ETFE)
 -As películas infladas formam um traveseiro de 2 metros de profundidade
 -As películas são leves, mas suportam o peso de um carro
 -As películas transmitem luz UV para as plantas realizarem fotossíntese, é antiaderente, autolimpante e tem durabilidade de mais de 25 anos
 -As geodésicas alcançam uma extensão de vão maior sem necessidade de pilares
 -Permite o crescimento de árvores
 -A área de retirada de argila teve o solo restaurado
 -O espaço permite a educação ambiental e atividades culturais
 -Com respaldo local, nacional e internacional
 -Integração de equipe
 -Integração entre natureza e mundo humano

de nossa própria essência como criaturas da natureza¹⁷³ (SMIT, 2016, p. 11, tradução nossa).

O nome Projeto Éden veio das convicções presentes no cofundador e na equipe envolvida no processo, de forma a expressar seus sentimentos na geração de um espaço que representasse aquilo que foi aspirado por eles:

Eu gosto da palavra Projeto. Há dinamismo, direção e uma ideia de evolução embutidos nela. [...] Nós chegamos ao nome Éden um tanto provisoriamente por causa das conotações religiosas, mas fazia sentido como um símbolo da humanidade em harmonia com a natureza abundante. Eu também gostei do conceito de que fomos expulsos do Paraíso por comer da Árvore do Conhecimento; talvez apenas agora, através da coleta de maior conhecimento, pudéssemos retornar¹⁷⁴ (SMIT, 2016, p. 75, tradução nossa).

O argumento de Smit para a atribuição do nome foi uma tentativa de libertação da humanidade, relacionada com o banimento e a possibilidade de retorno ao paraíso. No entanto, sua alegação vem da necessidade de criar um espaço que nos trouxesse o a sensação de se estar em um lugar singular. Smit afirmou a respeito da expiação dos envolvidos, que “Todos nós, a nosso modo, transformamos nosso Éden em um ato coletivo de redenção”¹⁷⁵ (SMIT, 2016, p. 12, tradução nossa), ou seja, na construção de um universo, um ecossistema, que trouxe uma regeneração não somente ao meio ambiente, mas também um crescimento pessoal.

O Projeto Éden foi inserido em uma cavidade de onde retiravam argila para fabricação de porcelanas, portanto, não é visível no horizonte imediato. Ao chegar no local, ao se direcionar para o centro de visitantes é possível observar alguns elementos arquitetônicos, mas quando se atravessa o edifício de entrada, se vislumbra as bolhas geodésicas em meio aos jardins. As bolhas azuis contrastam com o local, chamando a atenção de fora da cavidade, mas também proporcionando um céu azul se vista por dentro.

¹⁷³ Do original: “[...] we pray that it may be a place of enjoyment and a place of education; a place where we recall our responsibility, the power we have to destroy as well as create and in which we remember our own creatureliness” (SMIT, 2016, p. 11).

¹⁷⁴ Do original: “I like the word Project. It’s got dynamism, direction and a sense of evolution about it. [...] We came up with the name Eden somewhat tentatively because of the religious connotations, but it made sense as a symbol of Mankind in harmony with bounteous Nature. I also enjoyed the conceit that we had been thrown out of Paradise for eating from the Tree of Knowledge; perhaps only now, through the gathering of greater knowledge, could we return” (SMIT, 2016, p. 75).

¹⁷⁵ Do original: “All of us, in our own way, had turned our Eden into a collective act of redemption” (SMIT, 2016, p. 12).

Há dois conjuntos de geodésicas unidas parametricamente, no bioma de Floresta Tropical são unidas quatro geodésicas de distintos tamanhos, formando um espaço amplo em seu interior; o bioma Mediterrâneo é um pouco menor, com geodésicas de diâmetro metros, composta apenas por três delas, posto que este ecossistema não apresente árvores de porte tão alto quanto o bioma de Florestas Tropicais.

Ambos os edifícios se encontram conectados por um terceiro chamado *Link*, ou seja, a ligação entre os dois. O *Link* conecta não só esses espaços internamente, mas é um edifício de suporte para todo o Éden, com restaurantes, banheiro, loja, abrigo das intempéries climáticas e ponto de encontro. No espaço externo aos edifícios há várias trilhas por onde o visitante é levado por distintos jardins, cada qual com sua relevância.

O Projeto Éden foi desenvolvido pelas propostas iniciais de Tim Smit, cofundador junto com o Jonathan Ball, que formaram uma equipe principal cujos agentes participantes foram: a equipe arquitetônica do escritório *Grimshaw Architects*, equipe de engenheiros do escritório *Anthony Hunt Associates*, *Ove Arup & Partners* como consultores de engenharia ambiental, a arquitetura da paisagem foi modelada por *Land Use Consultants*, a construtora principal foi *McAlpine Joint Venture* e o gestor de projeto foi *Davis Langdon Management*. Pessoas e empresas locais também participaram de reuniões, apoiaram o projeto e se envolveram de forma informal.

Em 1994, Peter Broke, que fazia parte da *Millennium Fund*, fundou um benefício público que deveria ser distribuído para esportes, caridade, patrimônio e artes. Assim, os agentes do Projeto Éden começaram a procurar meios para financiamento, buscando fazer parte desses atributos para conseguir o benefício, que lhes foi concedido em 1999, para transpor o próximo milênio (SMIT, 2016, p. 64-65).

Ao longo do processo de desenvolvimento do Éden, foi criada uma rede integrada de agentes, ou seja, uma rede de interação biótica, na qual as pessoas envolvidas participaram ativamente e colaborativamente para dar um bom andamento à proposta, corroborando a sinergia entre as partes, ou seja, os agentes.

O Projeto Éden foi concebido por pessoas que se envolveram com a proposta e com a reflexão necessária para criar um local onde se pudesse mudar o

entendimento da Biologia. Entretanto, ele representou uma compreensão mais ampla que o objetivo inicial:

O Projeto Éden é mais do que apenas arquitetura, é sobre relacionamentos, sobre as relações entre o edifício e a paisagem, entre a paisagem e as pessoas. E isso gerou uma grande regeneração nessa área, o que torna esse projeto bastante notável¹⁷⁶ (THE GUARDIAN, 2011, p. , tradução nossa).

A complexidade do processo demandou um sistema de organização por parte das pessoas envolvidas que, por conseguinte, moldou a equipe de trabalho de forma a gerar um desenvolvimento integrado, por isso Smit ressaltou:

[...] eu pensei comigo mesmo, a coisa realmente especial sobre o Éden não é o que vemos, embora isso seja incrível o suficiente; é o espírito que reuniu tantas pessoas ‘comuns’, que adicionaram muito mais do que a soma de suas partes¹⁷⁷ (SMIT, 2016, p. 12, tradução nossa).

Assim sendo, a evolução do Éden delineou um sistema de organização social que criou uma rede de interações sinérgicas. Segundo entrevista realizada por Neil Alderman e Chris Ivory com o cofundador do Projeto Éden, Tim Smit, este foi conformado coletivamente de forma que, “Ao contar a história do Projeto Éden, Smit dá grande ênfase à atividade de rede necessária para criar apoio para o projeto”¹⁷⁸ (ALDERMAN e IVORY, 2011, p. 22, tradução nossa). Sendo assim, para que o projeto tivesse fundamentos necessários para evoluir, a constituição de uma rede bem estruturada foi essencial.

A rede de interações sociais dos envolvidos no projeto foi entendida por Alderman e Ivory como uma instância palpável e real, em que para ambos “[...] é fácil ver a rede de atores em ação aqui em uma tentativa muito consciente de

¹⁷⁶ Do original: “The Eden Project is more than just architecture, is about relationships, about the relationships of the building and the landscape, and the landscape and the people. And that has brought about, a great deal of regeneration to this area, which makes this a rather remarkable project” (THE GUARDIAN, 2011).

¹⁷⁷ Do original: “[...] I thought to myself, the truly special thing about Eden is not what we see, although that is awesome enough; it is the spirit that brought so many ‘ordinary’ people together, to add up to so much more than the sum of their parts” (SMIT, 2016, p. 12).

¹⁷⁸ Do original: “In his telling of the story of the Eden Project, Smit places great emphasis on the networking activity necessary to build support for the project” (ALDERMAN e IVORY, 2011, p. 22).

envolvimento e construção de redes”¹⁷⁹ (ALDERMAN e IVORY, 2011, p. 23, tradução nossa).

Os agentes participantes ao longo do processo constituem subsistemas que interagem entre si, por meio de uma hierarquia, além da sinergia presente no desenvolvimento das atividades pontuais, formando uma cadeia semelhante Sistema Nervoso Humano. Na implantação da rede, os agentes tiveram papéis definidos em função das atividades que realizavam. Para compreendê-los, Alderman e Ivory construíram um diagrama conectando os diferentes agentes ao longo desse processo. Neste, pode ser visto que o processo se inicia na parte inferior do diagrama com o cofundador Smit e a equipe principal, os quais enviavam, através da idealização basal, ou seja, da visão de projeto, informações para todos os demais agentes que faziam parte desse processo, sendo eles: biólogos, educadores, arquitetos, banqueiros e financiadores, membros da Comissão Europeia, funcionários de órgãos públicos e trabalhadores locais e o empreiteiro responsável pelo levantamento do Projeto Éden. As informações enviadas eram reforçadas tanto pela idealização coletiva da filosofia comum, como pela forte influência dos gestores principais, como Smit e sua equipe. Para Alderman e Ivory, Smit e a equipe principal representam uma rede social, desempenhando papéis de controladores dos subsistemas conectados. A seguir encontra-se a Figura 69, que ilustra o processo.

¹⁷⁹ Do original: “It is easy to see the actor-network in action here in a very conscious attempt at enrollment and network building” (ALDERMAN e IVORY, 2011, p. 23).

Figura 69 - Rede social interconectada do Projeto Éden

Fonte: ALDERMAN e IVORY, 2011, p. 23, traduzida e refeita pela autora.

Dessa forma, podemos observar a estruturação de subsistemas e suas características hierárquicas, advindas das funções que cada campo executa, bem como a rede de interações que permite através do envio de informações e atividades coordenadas legitimar a sinergia da organização social, em que a união de suas partes é mais que a simples soma das mesmas. Smit, em seu relato, propôs uma grande quantidade de reuniões para dar andamento ao projeto, e declarou a importância dessas interações:

[...] confiar no processo democrático e não simplesmente falar da boca para fora. Isso é um trabalho árduo, exigindo conversas intermináveis e inúmeras reuniões, mas não há nenhum atalho para criar um grupo de apoio¹⁸⁰ (SMIT, 2016, p. 61, tradução nossa).

¹⁸⁰ Do original: “[...] to trust in the democratic process and not simply pay lip-service to it. This is hard work, requiring endless talking and numberless meetings, but there is no short cut to creating a constituency of support” (SMIT, 2016, p. 61).

Em suas lições sobre o desenvolvimento de projetos dessa complexidade, Smit compreendeu a importância de um processo democrático efetivo, o que propiciou o avanço do Éden. Explorando o processo democrático e colaborativo do Projeto Éden, as pessoas envolvidas compreenderam a importância de um desenvolvimento com essas premissas, devido à complexidade do empreendimento, sendo assim, o gerenciamento correto era necessário para garantir o sucesso. Somado a organização em rede de interações, como visto no capítulo 3 [subcapítulo 3.3], além da interação entre os agentes envolvidos, ou da comunidade biótica, há *hubs* que se caracterizam pelo alto número de conexões, apontando para um centro mais comunicativo. No Éden:

[...] a equipe de gerenciamento de projetos forma o ‘*hub*’ logístico e administrativo da operação do cliente. Se, como nós, você estiver operando em parceria com muitos outros, o trabalho deles é crucial para manter todos fielmente informados. Fato: você não pode ser bem-sucedido com uma má administração, porque uma vez que você perde o controle da ordem dos eventos, o restante da equipe não pode fazer o trabalho deles¹⁸¹ (SMIT, 2016, p. 81, tradução nossa).

Ao longo do desenvolvimento do Projeto Éden, a empresa *Davis Langdon Associates* foi responsável pela administração e gerenciamento do sistema, o qual foi liderado por Derek Johnson e sua equipe (SMIT, 2016, p. 80), caracterizando-se, portanto, como o *hub* do sistema. Além da necessidade de um gerenciamento adequado, Smit também enalteceu a consistência da equipe do Éden, “Tudo isso seria nada se não tivéssemos criado a verdadeira base sobre a qual tudo poderia ser construído - a equipe”¹⁸² (SMIT, 2016, p. 98, tradução nossa), ou seja, a responsabilidade da consolidação provém da construção de uma equipe capaz de promover o apoio necessário para homologar o projeto. Além da organização por subsistemas hierárquicos, rede de interações entre os agentes e a sinergia, a presença da complexidade de um sistema é relevante para a determinação da Cibernética de Segunda Ordem.

¹⁸¹ Do original: “[...] the project management team form the logistical and administrative hub of the client's operation. If, like we were, you are operating in partnership with many others, their job is crucial in keeping everyone truthfully informed. Fact: you cannot be successful with poor administration, because once you lose control of the order of events the remainder of the team cannot do their job” (SMIT, 2016, p. 81).

¹⁸² Do original: “These would all be as nothing if we hadn't created the true foundation on which all else could be built - the team” (SMIT, 2016, p. 98).

A busca pela reprodução de estruturas ecossistêmicas, decorrente da necessidade de se conservar as espécies vegetais, levou os agentes do Projeto Éden a uma investigação sobre organizações biológicas e a inspiração na natureza, e a forma como suas partes se comunicam. Além da conotação relevante a respeito da interação entre os participantes do processo, também se compreendia a importância que a natureza tinha em seu desenvolvimento coletivo. Bem como discutido anteriormente sobre redes de interações no subsolo, Smit também entendia a comunicação existente entre os indivíduos vegetais:

[...] muitas das plantas tropicais se alimentam por associação micorrízica, através da qual um tapete de fungos subterrâneos benignos ligados às raízes das plantas quebram os nutrientes do solo para as plantas. Estabelecer este sistema será uma chave para o sucesso do empreendimento, e os fungos são extremamente sensíveis; o controle de pragas e doenças terá que ser em grande parte biológico para não perturbar o equilíbrio delicado¹⁸³ (SMIT, 2016, p. 121, tradução nossa).

Sua preocupação residia no fato de construir um ecossistema diferente do encontrado na região, e para tal, era necessário entender as conexões possíveis para a estruturação de uma rede consistente. Como explorado por Simard, as redes por meio de fungos chamadas de micorrízicas são importantes para a comunicação das plantas e, portanto, Smit também se encarregou dessa questão, pois para ele isso seria a solução para autenticar os ecossistemas e seu equilíbrio.

A implantação de um ecossistema demanda conhecimento para garantir estabilidade e constância do mesmo. A biologia possui complexidade tal que os modelos usados para o entendimento ecológico muitas vezes não preveem todas as instâncias. Portanto, as discussões devem ser sempre refeitas, pois “É um debate extraordinariamente complexo que destaca o quão importante é a ciência da ecologia e quanto mais nós precisamos descobrir”¹⁸⁴ (SMIT, 2016, p. 122).

¹⁸³ Do original: “[...] many of the tropical plants feed by mycorrhizal association, by which a carpet of benign subterranean fungi linked to the roots of the plants break down the goodness in the soil for them. Establishing this system will be a key to the success of the enterprise, and the fungi are acutely sensitive; the control of pests and diseases will have to be largely biological so as not to upset the delicate balance” (SMIT, 2016, p. 121).

¹⁸⁴ Do original: “It is an extraordinarily complex debate, and highlights how important the science of ecology is, and how much more we need to discover” (SMIT, 2016, p. 122).

Embora muitas investigações auxiliem na regeneração dos ecossistemas e possíveis reconstruções dos mesmos, o debate precisa percorrer outros níveis que se complementam:

Somente através de uma reavaliação das práticas industriais e agrícolas, e explorando as sinergias entre as duas, haverá uma chance de satisfazer nossas aspirações sem consequente dano terminal ao meio ambiente e finalmente a nós mesmos¹⁸⁵ (SMIT, 2016, p. 163, tradução nossa).

Há divergências entre os dois polos mencionados por Smit, o meio agrícola e o industrial, e isso se soma à incompreensão do fato que o meio ambiente sempre precisa estar em equilíbrio. Apenas com a busca da sinergia entre as diversas áreas, seja de exploração ou conservação, é que temos a oportunidade de promover uma evolução do uso em função do existente, pois:

[...] nós somos parte da natureza, e nutrir é nossa responsabilidade como a espécie predominante. [...] Estamos atrás do equilíbrio essencial - conservação e administração com uso sustentável¹⁸⁶ (SMIT, 2016, p. 163, tradução nossa).

Em vista disso, o desdobramento do Projeto Éden foi constituído sob as perspectivas do comportamento biológico, respeitando as condições e políticas de gerenciamento dos recursos efetivos. Para Smit, o equilíbrio do meio ambiente era essencial para o avanço da nossa espécie.

Bem como a comunicação e transmissão de informações existentes entre as plantas no subsolo, ou seja, a rede comunicativa constituída pela micorriza, esta foi tratada na elaboração dos biomas existentes no Projeto Éden. Porém, além da aplicação desses conceitos na restituição dos ecossistemas, o *hub* do projeto, ou seja, o gerente do processo de projeto, foi um importante polo comunicativo para manter as informações transmitidas em função do avanço do Projeto Éden, essa comunicação foi importante para garantir o sucesso do empreendimento, em que a organização em rede, a sinergia entre os agentes, o *hub* e a comunicação consistência permitiam uma progressão evolutiva. Essas características evidenciam

¹⁸⁵ Do original: “Only through a re-evaluation of industrial and agricultural practices, and exploring the synergies between the two, will there be a chance of satisfying our aspirations without consequent terminal damage to the environment and ultimately ourselves” (SMIT, 2016, p. 163).

¹⁸⁶ Do original: “[...] we are part of nature, and nurturing it is our responsibility as the predominant species. [...] We are after that essential balance - conservation and stewardship with sustainable use” (SMIT, 2016, p. 163).

a máquina homeostática entre o Subsistema 3 e 4 presentes no *VSM*, que originou a estratégia para participação colaborativa e comunicativa do *Team Sinteegrity*.

Considerando a atuação dos agentes e a influência que o Projeto Éden teve ao longo do seu processo, essa atuação propiciou uma comunicação externa ao sistema, como o subsistema 4 do *VSM*, que além da coleta de informações das atividades desenvolvidas dentro do sistema, interage com o exterior como forma de adequá-lo em um futuro melhor. Assim, várias estratégias foram aplicadas para fortalecer as oportunidades de efetivá-lo, dentre elas foi necessário influenciar meios locais, nacionais e internacionais. Para tal, os fundadores Tim Smit e Jonathan Ball tinham premissas para instigar a participação de pessoas importantes. Nos pensamentos de Smit:

Engajar o interesse das pessoas em pressionar pela mudança é uma função das duas primeiras etapas combinadas com convencê-las de que seus esforços podem fazer a diferença individualmente ou coletivamente. A apatia é muitas vezes simplesmente um subproduto da impotência. O empoderamento pode criar um tigre¹⁸⁷ (SMIT, 2016, p. 164, tradução nossa).

Suas energias foram direcionadas para persuadir de forma a criar uma empatia com o projeto, assim os participantes se sentiram envolvidos e pertencentes a um grupo que mantinham os interesses individuais com um todo coletivo.

Em relação à responsabilidade com o meio ambiente e o uso de recursos, o Projeto Éden mantém ativas políticas sustentáveis e manejos responsáveis. O Projeto Éden foi concebido de forma a sustentar esses ideais na tentativa de transmitir a proposta para o mundo, no último relatório anual do empreendimento, que compreende os anos de 2017 e 2018, foi ressaltada a importância da administração sustentável, não só visando reduzir os prejuízos, mas também promover melhorias (SEABRIGHT, 2018, p. 33). Dentre as suas atividades, desenvolveram políticas para reduzir a emissão de gás carbônico, com uma diminuição de 27% desde 2013, devida “[...] a várias mudanças operacionais importantes e ao trabalho árduo de nossa equipe para melhorar as eficiências”¹⁸⁸

¹⁸⁷ Do original: “Engaging people's interest in pushing for change is a function of the first two stages combined with convincing them that theirs efforts can make a difference either individually or collectively. Apathy is often simply a by-product of powerlessness. Empowerment can create a tiger” (SMIT, 2016, p. 164).

¹⁸⁸ Do original: “[...] due to a number of key operational changes and the hard work of our team to improve efficiencies” (SEABRIGHT, 2018, p. 34).

(SEABRIGHT, 2018, p. 34, tradução nossa). Outros procedimentos também foram modificados, garantindo uma diminuição de 16 toneladas de resíduos e um aumento de 67 toneladas de material de reciclagem. Somado a isso, 100% dos alimentos foram decompostos, 100% da energia usada vinha de fontes renováveis e 66% da água usada para a construção do Éden foi coletada no mesmo local (SEABRIGHT, 2018, p. 34).

O Projeto Éden, além de se configurar como um sistema viável, também possui características importantes de adaptação, apresentando-se como um objeto ideal. Os travesseiros inflados nas geodésicas permitem o isolamento adequado ao ambiente, atuando como uma manta térmica, sem perda do controle das características dos biomas; há isolamentos com jornal reciclado em outras partes da construção, permitindo um ambiente mais quente no inverno e mais fresco no verão; há placas fotovoltaicas em partes do edifício para gerar energias renováveis, - além de produzir energia, estas são usadas para meios educativos também -; há redução no consumo da água, além da captação e reutilização da mesma nos vasos sanitários e na rega das plantas; há utilização da luz natural; e, os materiais usados na construção foram de origem sustentáveis e reciclados.

Em relação ao local em que o Projeto Éden foi inserido, em suas premissas constava a recuperação de uma área de extração e, portanto, um espaço que deveria recuperar seu equilíbrio ecológico e um processo de regeneração do entorno. A seguir podemos observar a implantação do Projeto Éden e a localização dos Biomas sob as geodésicas, na Figura 70.

Figura 70 - Implantação do Projeto Éden

Fonte: material de visita da autora, 2018.

Com relação ao processo da arquitetura do Projeto Éden, concebido pela equipe do arquiteto Nicholas Grimshaw, é importante ressaltar que o local em que o projeto foi inserido era uma antiga mina de coleta de argila para a fabricação das porcelanas brancas. Devido à coleta contínua, a montanha se tornou uma cavidade depressiva, e o fato de ainda estarem coletando argila enquanto o projeto estava sendo desenvolvido, acarretou em grandes mudanças semanais. Ao longo da concepção, foi projetado um túnel de aço e vidro que ocuparia a lateral da cavidade depressiva, com uma margem de alteração de dez metros por semana. A partir de então, os envolvidos repensaram o projeto e então,

A equipe de Grimshaw veio com um design alternativo que ecoou perfeitamente o sentimento, se não a inspiração das folhas. Seu ponto de partida seria uma exploração da estrutura geodésica, tornada famosa por Buckminster Fuller, que projetou uma cúpula geodésica chamada Climatron no Missouri *Botanic Gardens*, nos

EUA, que parecia uma gigantesca bola de aço. O conceito previa menor peso e máxima área de superfície na curva - com força. A escala do Éden era tal que os pentágonos favorecidos por Fuller não seriam suficientes, mas as ideias funcionavam como uma inspiração¹⁸⁹ (SMIT, 2016, p. 171-172, tradução nossa).

A geodésica de Fuller, desenvolvida para os Jardins Botânicos de Missouri, foi o ponto de partida para desenvolver o Projeto Éden, garantindo maior extensão com menos uso de materiais. Adicionalmente, as geodésicas proporcionam outra questão favorável, pois:

Ao usar esse modelo, pode-se ver que é possível desenvolver um design que possa se adaptar a qualquer coisa que as superfícies abaixo estejam fazendo. Este foi o grande avanço. Logo, um modelo foi criado, descrito de várias formas como imitando a asa de uma libélula, o olho de uma mosca ou o simples favo de mel. No momento em que o vimos, adoramos, porque parecia natural - uma resposta biológica às nossas necessidades, mas forjada em materiais que nos permitiriam explorar o cultivo de plantas de uma maneira nunca antes tentada¹⁹⁰ (SMIT, 2016, p. 172, tradução nossa).

A geodésica propiciou facilidades na implantação do projeto, na capacidade de envolver uma área maior e permitir o cultivo das espécies em questão. Além disso, proporcionou um meio impactante tanto na funcionalidade, como na característica visual. Como dito por Smit, o Éden tinha proporções em uma escala maior e as necessidades trouxeram estudos em que foram feitas combinações das geodésicas, como uniões de bolhas de sabão (SMIT, 2016, p. 172).

A seguir é possível observar o projeto das geodésicas realizado pela equipe do arquiteto Nicholas Grimshaw, Figura 71.

¹⁸⁹ Do original: "Grimshaw's came up with an alternative design that perfectly echoed the sentiment, if not the inspiration of leaves. Their starting point would be an exploration of geodesic structure, made famous by Buckminster Fuller, who himself designed a geodesic dome called the Climatron at Missouri Botanic Gardens in the USA, which looked like a giant steel boules ball. The concept provided for least weight and maximum surface area on the curve - with strength. The scale of Eden was such that the pentagons favoured by Fuller would not suffice, but the ideas acted as an inspiration" (SMIT, 2016, p. 171-172).

¹⁹⁰ Do original: "By using this model one can see that it is possible to develop a design that can adapt to whatever the surfaces beneath it are doing. This was the big breakthrough. Soon a model was created variously described as mimicking a dragonfly's wing, a fly's eye or the simple honeycomb. The moment we saw it we loved it, because it felt natural - a biological response to our needs, but forged in materials that would allow us to explore the cultivation of plants in a way never before attempted" (SMIT, 2016, p. 172).

Figura 71 - Detalhamento do Projeto Éden

Fonte: GRIMSHAW, 2019.

O projeto, embora não explanado de forma clara, tem raízes em processos de parametrização.

As geodésicas do Projeto Éden foram projetadas de vários tamanhos e interconectadas por aros. Assim como as geodésicas de Fuller, estas também são iniciadas por meio dos icosaedros e subdivididas, com triângulos formando hexágonos aparentes, como pode ser visto na Figura 72 a seguir.

Figura 72 - Bioma de Floresta Tropical

Fonte: Foto tirada pela autora em visita ao local, 2018.

Na figura anterior podemos observar os hexágonos feitos pelos traveseiros de ar que cobrem a geodésica para formar as condições controláveis em cada um dos biomas. A seguir, na Figura 73, encontra-se a exploração do icosaedro na geodésica por meio das linhas amarelas, que marcam as arestas do polígono, e a marcação em mancha laranja, que mostra os pentágonos remetentes aos vértices do polígono.

Figura 73 – Bioma Mediterrâneo

Fonte: Foto tirada em visita ao local e alterada pela autora, 2018.

O Éden recebeu em seu último ano em torno de um milhão de visitantes que puderam explorar os distintos biomas mundiais, visitar exposições, assistir apresentações e participar de encontros científicos (SEABRIGHT, 2018, p. 38).

O projeto Éden influenciou em nível internacional, revisões sobre o que se entende por habitat. Atualmente estão sendo desenvolvidas propostas para recuperação de ambientes nativos tanto na Nova Zelândia, na preservação de espécies vegetais e repertório cultural, quanto para o Norte da Inglaterra, chamado Projeto Éden Norte, visando recuperar o entorno marítimo da Baía de Morecambe.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA E PROJETO ÉDEN

O Projeto Éden inova no processo ecossistêmico através da escolha de critérios de entrada (*inputs*) de informações escolhidas pelo grupo envolvido. A

proposta previa a alteração no modo de pensar, com um espaço para a conservação de espécies vegetais e com o intuito de reeducar a sociedade e promover a importância do meio ambiente. O projeto inclui muitos subsistemas, ou seja, micro ecossistemas projetados ao longo do espaço, cada qual com suas características e incentivos didáticos para o aprendizado dos visitantes. O posicionamento que o Projeto Éden trouxe foi uma experiência que conquistou internacionalmente distintos grupos sociais no âmbito das questões ecológicas, abraçando não somente o entusiasmo em proteger o mundo biológico, mas também de reproduzi-lo por meio de sua arquitetura.

Em 2001, a viabilização dos sistemas e a solução de grupos por conceitos sinérgicos já haviam se consolidado por meio de áreas como o gerenciamento empresarial. Para Tim Smit, era necessário que as ideias individuais refletissem o coletivo proposto a fim de evoluir os ideais de forma mais congruente. Assim, o Projeto Éden representa atualmente o espaço tão almejado por aqueles que o idealizaram. Ao analisarmos o processo de solidificação de sua proposta, foi possível observar a presença sinérgica nos momentos necessários, permitindo uma coesão do todo através das partes, bem como a interação das mesmas de forma interdependente, produzindo uma coevolução. Assim como os sistemas biológicos, as organizações sociais apresentam meios de se estruturarem que refletem os meios estudados, indicando dessa forma a recursividade dos padrões em ambas instâncias.

Diante de conceitos elaborados por Stafford Beer, a respeito da viabilização de sistemas, foram pontuadas, de maneira geral, características que se aproximam ao Projeto Éden:

❖ **Subsistemas:** Os subsistemas, tanto da organização social da equipe, como para o processo construtivo da geodésica, ambos são estruturados por partes que formam um todo, sendo necessário que esteja definida a coordenação dos subsistemas posto que a elevação da geodésica só é possível através da colaboração e coordenação do processo. Assim como a geodésica palpável necessita desse tipo de envolvimento, o Projeto Éden também foi organizado de forma a apresentar uma estrutura de subsistemas, ou seja, grupos responsáveis por atividades específicas, ao longo do processo.

❖ **Participação colaborativa e Sinergia:** Bem como os atributos físicos de uma geodésica se apresentam por meio de partes interconectadas de forma sinérgica com destrezas colaborativas, também o processo de desenvolvimento do Projeto Éden possui essas características. O envolvimento das pessoas foi atribuído de modo que permitisse e exigisse uma participação colaborativa, por meio de acordos elaborados ao longo do processo e também do gerenciamento do mesmo.

❖ **Coevolução:** A geodésica, fisicamente só é possível através das partes que se relacionam de forma interdependente, essa sinergia que se cria entre suas partes promove uma coevolução, posto que as partes se configuram ao final do processo como mais do que a simples soma das mesmas, e, portanto, apresentam uma evolução do coletivo. Bem como o modelo físico, o processo evolutivo das pessoas envolvidas trouxe uma mudança no pensamento e na capacidade de influenciar o entorno com sua proposta, assim, houve uma coevolução de todos os envolvidos e também uma sensibilização que superou os limites do Projeto Éden, permitindo uma extrapolação ao mundo externo, conectando-se a uma rede recursiva em escala maior.

Unidades Autônomas e Coesão: O Projeto Éden é subdividido em doze partes, ou subsistemas, entre eles: centro de visitantes, zig-zague através do tempo, Bioma da Floresta Tropical, Ligação, Bioma Mediterrâneo, Avenida dos sentidos, Núcleo, espiral em volta do Núcleo, encostas de tesouros terrenos, jardins ao ar livre, Palco e Arena. Estes funcionam de forma autônoma em relação ao todo, apresentando-se como micro ecossistemas capazes de desenvolver atividades individuais, no entanto, as interdependências de sua existência formam um todo coeso. Bem como o Projeto Éden e sua configuração organizacional, o processo foi constituído de maneira que houvesse grupos de trabalho desenvolvendo atividades simultaneamente de forma interdependente e que formaram um todo coeso.

❖ **Rede de interações:** Materialmente, as geodésicas formam uma rede de interações em que suas partes se conectam. O Projeto Éden foi desenvolvido através de uma implantação que criou uma rede de interações entre os diferentes micros ecossistemas existentes nele, no entanto, ao longo de seu processo, este se transformou em uma rede interconectada de pessoas, cujas atribuições exigiam a formação dessa teia. Somados a essa questão, com os novos projetos de Éden, a rede se alastrou de forma a influenciar o mundo, bem como Fuller o idealizou.

❖ **Hubs:** No Projeto Éden, há um edifício chamado Ligação, *Link*. Este edifício conecta dois Biomas, a Floresta Tropical e o Mediterrâneo, além de conectar mais espaços, funcionando como um centro de convivência e interações. Ele pode ser considerado um ‘hub’, ou seja, um espaço com muitas conexões, ligando áreas internas e externas, mais fortemente que o centro de visitantes, pois, ao percorrer o Projeto Éden, percebe-se que todas as trilhas encaminham os usuários para o *Link*. Além dos atributos físicos existentes no Projeto Éden, o cofundador Tim Smit, que foi o idealizador do projeto, pode ser considerado um *hub* na organização social do processo de projeto, pois apesar de não ter sido o gerente do processo, sua influência permeava todas as partes.

❖ **Recursividade:** Os padrões organizacionais e a estrutura de subsistemas encontram-se reproduzidos dentro de um mesmo sistema, ou seja, desde uma escala local a uma escala global. Nas geodésicas, os padrões triangulares e conexões existentes estão presentes desde a menor à maior geodésica, apresentando recursividade.

O Projeto Éden inova em termos de criação de grupos com participação coletiva e da busca por sinergias, seja na rede social, seja na associação entre a agricultura e o meio ambiente, ou ainda entre o meio ambiente e o homem. Isso se dá através de uma organização social colaborativa que promove um ideário coletivo por meio de agregações de contribuições individuais. A relevância desse empreendimento contemporâneo está na reprodução da estruturação por meio de subsistemas e hierarquias que coordenam seu processo, bem como na aplicação dos conceitos sinérgicos de Fuller na elaboração das geodésicas. Além disso, a importância dessa obra reside em se produzir um espaço para educação sobre o meio ambiente, preservação de espécies e cultivo das mesmas, responsabilidade com o meio ambiente e o meio social e de discussão de políticas de sustentabilidade, com financiamentos partindo desde o âmbito local, passando para o nacional e finalmente ao internacional. Assim, apresenta recursividade, viabilidade do sistema, influência e conexão com o meio externo, coevolução de suas partes e preparo para se relacionar com demais instâncias.

CONSIDERAÇÕES PARTE II

A partir da apresentação do Modelo de Sistema Viável e do *Team Syntegrity* desenvolvidos por Stafford Beer, proporcionamos uma análise comparativa a fim de estabelecer critérios de viabilização em função da sistematização para o processo de projeto. Foram investigados dois momentos arquitetônicos importantes. O primeiro, entre 1948 e 1967, no qual o arquiteto Richard Buckminster Fuller desenvolveu o conceito Sinérgico, embora anterior à consolidação da viabilização em função da sistematização de Beer, foi relevante para a mudança de paradigma do período de produção em massa para a construção civil. O segundo momento, em que o projeto contemporâneo analisado foi completamente efetivado, remete ao ano de 2001, por volta de 30 anos após a idealização de Beer.

Em relação ao local: Na observação da arquitetura de Fuller, o primeiro analisado foi a Residência de Anne e Buckminster Fuller, de 1960, inserida na cidade de Carbondale, em Illinois, centro leste dos Estados Unidos. O segundo estudo, o Pavilhão Americano concebido para a Feira Mundial de 1967, por Fuller, localiza-se na cidade de Montreal, Sudeste do Canadá. Enquanto a localidade em que está inserido a primeira geodésica apresenta climas considerados amenos, com mínimas de -6° no inverno e máxima de 31° no verão, a segunda passou por condições mais extremas que a primeira, tendo pegado fogo em 1976 nas células de revestimento e, por conseguinte na estrutura, decorrente da manutenção do edifício, além de ter congelado devido às baixas temperaturas do local em 1998. As geodésicas resistiram a anos de existência e por vezes a condições extremas, mostrando uma ampla capacidade de resistência a condições ambientais adversas. O terceiro plano analisado, o Projeto Éden, localiza-se na Cornoalha, Inglaterra, e também apresentou capacidade de acompanhar mudanças climáticas, garantindo o interior estável para a preservação das espécies vegetais oriundas de distintos biomas.

Em relação às premissas iniciais: As premissas consideradas nos projetos analisados foram semelhantes, embora apresentem suas particularidades. Considerando as geodésicas de Fuller, em sua residência o que o motivou foi a proposição de outro modo de vida, bem como o Conceito Dymaxion, o Conceito Sinérgico foi relevante para a mudança de pensamento do período. Em relação ao Pavilhão Americano, Fuller repensou a organização social e investiu no pensamento

democrático sob a 'revolução da ciência do *design*'. Logo, o Projeto Éden recupera essas premissas desenvolvidas por Fuller e propõe um espaço que considera a organização social e a conservação de espécies vegetais para educação do meio ambiente à sociedade.

Em relação à escolha das tecnologias: As geodésicas carecem de métodos construtivos não convencionais. Como o seu processo de edificação só se fortalece quando todas as partes se unem, é necessário o uso de tecnologias e participação colaborativas. Em sua residência, foram usados materiais resistentes como madeira e fibra de vidro; no Pavilhão Americano foi usado aço e células de acrílico. No Projeto Éden foi empregado o aço para a estrutura e como revestimento os travesseiros inflados de ETFE, que permitem o controle das condições internas dos biomas, apresentando o uso de tecnologias bastante atuais.

Em relação ao programa espacial: A residência de Fuller foi projetada de forma que tivesse dois pavimentos, no primeiro foram alocados todos os espaços comuns como cozinha, quarto, banheiro sala, enquanto o pavimento superior abarcava da biblioteca de Fuller e um espaço de trabalho. O ambiente, embora fosse circular, garantia um espaço de convivência agradável, o que permitiu a estadia de Anne e Buckminster por onze anos, além de sua permanência como residência estudantil por mais 30 anos. Atualmente ainda apresenta-se como um espaço que garante um modo de vida confortável e atual. O Pavilhão Americano proporcionou uma distribuição espacial bastante flexível, com um espaço amplo em seu interior, permitindo quatro escadas rolantes com várias plataformas. Atualmente, com a sua casca geodésica, o interior permite que alterações sejam feitas de forma que seu uso se torne diverso em função das atividades do museu em que se transformou. Em relação ao Projeto Éden, os biomas sob as geodésicas permitiram o crescimento de árvores e vegetações exuberantes.

Em relação ao limite da atuação do arquiteto: Os limites de decisões impostos nos projetos ocorrem devido ao gerenciamento do processo arquitetônico realizado pela coordenação do gestor, frente às entradas inseridas que resultam o produto final. O processo das geodésicas exige que haja colaboração e, portanto, se torna um processo participativo. No entanto, a integração deve acontecer antes da edificação e Fuller desenvolveu em suas geodésicas uma rede inicial simples. Em relação ao Projeto Éden, Tim Smit conseguiu formar subsistemas e uma rede de

interações com controle e sistematização do processo. Houve limites tecnológicos em função de meios colaborativos no período de Fuller, no entanto, seu trabalho sempre se apresentou de forma inédita à era a qual pertencia, produzindo mudanças de pensamento e permitindo avanços nos projetos contemporâneos. No Projeto Éden, iniciado em 1994 e concluído em 2001, foi possível observar a integração da equipe de forma informal, com meios não tecnológicos e através de reuniões, a qual passou para a tecnologia da informação e plataformas mais colaborativas em função do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Em relação à viabilização em função da sistematização: O desrespeito às características que tornam um espaço viável em função da sistematização leva à limitação do arquiteto como um profissional apto para o entendimento da arquitetura como um sistema viável construído por subsistemas, havendo uma rede de interações e sinergia entre suas partes. Uma arquitetura que considera a relação entre as partes que compõem o todo se apresenta como coerente e responsável. No caso de Fuller houve uma limitação em relação a meios de colaboração, pois este foi feito de forma não registrada e com relações interpessoais. O avanço das tecnologias e plataformas colaborativas no meio atual permitem o registro e a interconectividade de forma mais ampla. O Projeto Éden apontou a presença de estrutura com subsistemas, rede social integrada e sinergia entre vários âmbitos abordados, evidenciando a viabilização em função da sistematização.

A viabilização em função da sistematização é um importante norteador processual. As análises dos projetos selecionados, sendo o foco a viabilização do sistema por meio da rede de interações e a sinergia entre as partes, permitiram demonstrar claramente o uso desse modelo no auxílio ativo das decisões projetuais. Com o Conceito Dymaxion, Fuller se propôs a trazer outro modo de vida, no entanto, com as recorrentes crises dos recursos biológicos, ele revisou o processo de projeto em função dessas questões aprimorando seus conceitos e propondo não somente outro modo de vida, mas também uma ‘revolução da ciência do design’ sob a perspectiva ecológica.

Foi possível observar através dos projetos arquitetônicos que estes foram conduzidos de maneira que refletissem o respeito ao meio ambiente e à orientação de organizações sociais democráticas, refletindo na viabilização do sistema. A deferência aos processos de projeto arquitetônico exprimem a presença da

viabilização em função do sistema e as configurações ecossistêmicas, como condicionantes, reverberam no cumprimento da arquitetura responsável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

IMAGEM: M. C. ESCHER – METAMORFOSE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Cibernética tem dois momentos que se complementam, sendo a Cibernética de Primeira Ordem compreendida entre 1940 e 1960 e a Cibernética de Segunda Ordem de 1960 a 1990. Enquanto a primeira foi regida pela definição de conceitos e observação dos processos, com relevância no desenvolvimento da ciência da máquina ideal de Ross Ashby, a segunda tratou do entendimento do papel do observador, e construção de modelos para reorganizações sociais.

O avanço da Cibernética foi influenciado inicialmente pela biologia, seja na apreensão de processamento de informações do cérebro, seja no entendimento do sistema nervoso, seja pelos padrões ecossistêmicos apresentados desde uma célula a um planeta. Os modelos ecossistêmicos foram considerados pelos ciberneticistas, bem como a consolidação da Ecologia de Ecossistemas voltou seus olhos na ponderação dos conceitos elaborados pela Cibernética. A área de Ecologia revela meios de se compreender os processos, auxiliando na observação dos mesmos.

A relevância dessa investigação consiste na ligação de três áreas, sendo estas a Cibernética, a Ecologia e o Processo de Projeto. Para tal, os fundamentos advindos da Cibernética e Ecologia permitiram a compreensão do processo de projeto sob suas bases, trazendo uma interdisciplinaridade para a Arquitetura.

Nesta investigação foram analisados exemplos relevantes que indicaram a existência de conceitos e estratégias cibernéticas vistas através dos ecossistemas. Os indicadores foram pontuados tanto em projetos referentes ao período em que houve ruptura no modo de pensar, bem como em estudos de casos contemporâneos como o BedZED e o Projeto Éden. Estes, a seu modo, apresentaram respectivamente a efetivação da ciência da máquina ideal e a viabilização em função da sistematização, retratando dessa forma a cibernética em ação na arquitetura.

Todavia, acreditamos ser necessária uma mudança de métodos e quebra de paradigma em função da criação de um processo de projeto ecológico, em que os indicadores possam ser recursos para garantir uma arquitetura responsável através da ação cibernética vista pelos ecossistemas. Frisamos a importância de se entender a Biologia, não somente nas formas que esta apresenta, mas também na forma de processamento de informações, comunicação e organização social.

Tanto o BedZED quanto o Projeto Éden demonstram uma continuidade da estruturação cibernética no processo de projeto, além de evidenciarem a

complementariedade entre si, ou seja, enquanto o primeiro apresenta um objeto ideal, o segundo configura-se como um sistema viável interconectado com o meio. Acreditamos que uma boa Arquitetura deverá considerar as duas instâncias, a Cibernética de Primeira Ordem e a Cibernética de Segunda Ordem, em que Fuller foi pioneiro na aplicação das duas ordens, por meio do Conceito Dymaxion bem como pelas Geodésicas.

Portanto, foi comprovada através da dissertação, a relevância das duas cibernéticas para o processo de projeto, bem como o surgimento de uma terceira com a fusão de ambas as ordens, adicionada de uma compreensão ampliada através da consciência do ambiente. Procurou-se apresentar meios de aprimorar o processo de projeto arquitetônico através de indicadores de qualidade tanto da ciência da máquina ideal de Ashby, quanto da viabilização em função da sistematização de Beer, sob as perspectivas ecossistêmicas. Esses indicadores refletem a presença da cibernética como uma ação que valida a observação do processo, mas também aproximam o processo de projeto às organizações ecológicas, permitindo um melhor desempenho.

Em decorrência do aprofundamento dessas questões, foi observado que sem embargo esta pesquisa encontra-se em andamento, havendo mais questões a serem abordadas como a atualização dos acontecimentos recentes frente ao avanço tecnológico em meios digitais que permitem a associação mais aprofundada dos processos biológicos e a otimização da natureza, como a comunicação ecológica de Niklas Luhmann (LUHMANN, 1989), e o entendimento ecológico de Gregory Bateson (BATESON, 1987), como partes de uma pesquisa futura de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERMAN, N.; IVORY, C. Translation and Convergence in Projects: An Organizational Perspective on Project Success. **Project Management Journal**, v. 42, n. 5, p. 17-30, 2011.
- ARCHITECTS, B. D. BedZED—Beddington Zero Energy Development, Sutton. **The Government's Energy Efficiency Best Practice Programme**, Crown, 2002.
- ASARO, P. From mechanisms of adaptation to intelligence amplifiers: the philosophy of W. Ross Ashby. **The mechanical mind in history**, 2008. 149-184.
- ASHBY, R. Ross Ashby's Journals. **Ross Ashby**, 1945. Disponível em: <<http://www.rossashby.info/>>. Acesso em: agosto 2017.
- ASHBY, W. R. **Design for a Brain**: The origin of adaptative behaviour. Second Edition Revised. ed. London: Chapman and Hall, 1960.
- AWAKEN THE WORLD FILM. Inner Worlds, Outer Worlds - Part 2 - The Spiral. **Youtube**, 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZIMoxXOOXvM>>. Acesso em: janeiro 2019.
- BALDWIN, J. **BuckyWork**: Buckminster Fuller's ideas for today. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1996.
- BANHAM, R. **Teoria e Projeto na Primeira Era da Máquina**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1979. 499-515 p.
- BATESON, G. **Steps to an ecology of mind**: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology. Northvale, New Jersey, London: Jason Aronson Inc., 1987.
- BEER, A. S. **A platform for change**. New York: John Wiley and Sons, 1975.
- BEER, A. S. **The Heart of Enterprise**: The Managerial Cybernetics of Organization. New York: Wiley, 1979.
- BEER, A. S. **Brain of the Firm**. 2nd. ed. [S.l.]: Wiley, 1981.
- BEER, A. S. The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology. **The Journal of the Operational Research Society**, V. 35, n. N. 1, Janeiro 1984. 7-25.
- BEER, A. S. **Diagnosing the System for Organization**. [S.l.]: Wiley, 1985.
- BEER, A. S. **Beyond Dispute**. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- BEER, A. S. What is cybernetics? **Kybernetes**, 31, Issue 2, 2002. 209-219.
- BERTALANFFY, L. V. **General System Theory**: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller, Inc., 1969.
- BLACK MOUNTAIN COLLEGE. Buckminster Fuller. **Black Mountain College Project**, 2019. Disponível em:

<<http://www.blackmountaincollegeproject.org/Biographies/FULLER%20BUCKMINSTER%20BIO/FULLER%20BUCKMINSTER.htm>>. Acesso em: janeiro 2019.

BUCKMINSTER FULLER INSTITUTE. Geodesic Domes. **BFI**, 2019. Disponível em: <<https://www.bfi.org/about-fuller/big-ideas/geodesic-domes>>. Acesso em: janeiro 2019.

CANTÚ, J. L. CYBERNETICS: The super science of interconnectedness; definitions, origins, & map. **Youtube**, 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=29C9bTImGqs>>. Acesso em: Maio 2017.

CARBONDALE TOURISM. Fuller Dome Home. **Carbondale Tourism**, 2018. Disponível em: <<https://carbondaletourism.org/wp-content/uploads/2018/01/Fuller-DomeHomebyGelmanWeb.jpg>>. Acesso em: dezembro 2018.

CHANCE, T. Towards sustainable residential communities; the Beddington Zero Energy Development (BedZED) and beyond. **Environment and Urbanization**, 21, n. 2, 2009. 527-544.

CORNING, P. **Holistic Darwinism: Synergy, cybernetics, and the bioeconomics of evolution**. [S.l.]: University of Chicago Press, 2010.

CURATOR, C. Biosphere on fire! **findery**, 2013. Disponível em: <<https://findery.com/ChiefCurator/notes/biosphere-on-fire>>. Acesso em: dezembro 2018.

DENNIS, K. Cars, Cities, Futures. **Department of Sociology**, Lancaster University. Lancaster. UK, 2007.

DUBBERLY, H. Design in the age of biology: Shifting from a mechanical-object ethos to an organic-systems ethos. **Interactions**, v. 15, n. 5, p. 35-41, 2008.

DUNCAN, D. 'Bucky Dome' receives Historic Preservation Award. **The Southern Illinoisan**, 2015. Disponível em: <https://thesouthern.com/news/local/communities/carbondale/bucky-dome-receives-historic-preservation-award/article_f5578cb8-9eb4-59eb-b448-656fd70a58a6.html>. Acesso em: janeiro 2019.

EDMONDSON, A. C. **A Fuller Explanation: The Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller**. Boston: Birkhäuser Boston, Inc, 1987.

ESPINOSA, A. Governance for sustainability: learning from VSM practice. **Kybernetes**, v. 44, p. 955-969, 2015. ISSN 6/7.

ESPINOSA, A.; HARNDEN, R.; WALKER, J. A complexity approach to sustainability—Stafford Beer revisited. **European Journal of Operational Research**, v. 187, p. 636-651, 2008. ISSN 2.

FRACALOSS, I. Clássicos da Arquitetura: Casa Dymaxion 4D / Buckminster Fuller. **Archdaily**, 2013. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-130267/classicos-da-arquitetura-casa-dymaxion-4d-slash-buckminster-fuller>>. Acesso em: junho 2017.

FRAZER, J. H. **An Evolutionary Architecture**. London: Architecture Association, 1995.

FRAZER, J. H. The architectural relevance of cybernetics. **Systems Research**, v. 10, p. 43-48, 2007. ISSN 3.

FU, W.; MALESZYK, J.; OCHOA, I. Dymaxion Developments: Morphological Timeline of the Dymaxion Dwelling Machine. **The Dymaxion House**, 2017. Disponível em: <<http://b2dymaxionhouse.blogspot.com/p/morphology.html>>. Acesso em: junho 2017.

FULLER DOME HOME. Fuller Dome Home. **Fuller Dome Home**, 2019. Acesso em: <<https://www.fullerdomehome.com/>> janeiro 2019.

FULLER, B. **Synergetics**: Explorations in the Geometry of Thinking. [S.l.]: Macmillan Publishing Co. Inc., 1975-79.

FULLER, B. **The artifacts of R. Buckminster Fuller**: a comprehensive collection of his designs and drawings. New Yor, London: Garland, v. 4: The Geodesic Revolution, Part 2, 1960-1983, 1985.

GOLDMAN, J. A. Towards a systems biology of the built environment. **Energy and Buildings**, 2, Issue 4, 1979. 309-321.

GORDON, A. War Shelters, Short-Lived Yet Living On. **The New York Times**, 2013. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2014/01/02/garden/war-shelters-short-lived-yet-living-on.html>>. Acesso em: Julho 2017.

GRIMSHAW, N. The Eden Project: The Biomes. **Grimshaw**, 2019. Disponível em: <<https://grimshaw.global/projects/the-eden-project-the-biomes/>>. Acesso em: abril 2019.

HENDERSON JR., E. E. The Machine and the Craftsman: The Hope for Technology in Prefabricated American Architecture. **TournaTalk**, 2014. Disponível em: <<https://tourtatalk.wordpress.com/2014/10/11/the-machine-and-the-craftsman-the-hope-for-technology-in-prefabricated-american-architecture/>>. Acesso em: Julho 2017.

JORDANO, P.; VÁZQUEZ, D.; BASCOMPTE, J. Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. In: MEDEL, R.; AIZEN, M. A.; ZAMORA, R. **Ecología y evolución de interacciones planta-animal**. 1ª ed. ed. Santiago de Chile: Universitaria, 2009. Cap. 1, p. 17-42.

JÜRGEN; MIKE. Montreal's Biosphère. **Montreal for 91 days**, 2019. Disponível em: <<http://montreal.for91days.com/montreals-biosphere/>>. Acesso em: janeiro 2019.

KAGAN, S. **Art and sustainability**: Connecting patterns for a culture of complexity. [S.l.]: transcript Verlag, 2014.

KEATS, J. **You Belong to the Universe**: Buckminster Fuller and the Future. [S.l.]: Oxford University Press, 2016.

KENHUB. Estruturas subcorticais. **KENHUB**, 2018. Disponível em: <<https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/diencefalo>>. Acesso em: 20 novembro 2018.

KILSON, K. Forget Geodesic Domes, Buckminster Fuller's Dymaxion House Was His Masterpiece. **Inverse**, 2016. Disponível em: <<https://www.inverse.com/article/13715-forget-geodesic-domes-buckminster-fuller-s-dymaxion-house-was-his-masterpiece>>. Acesso em: maio 2016.

KRIPPENDORFF, K. HOMEOSTAT. **Principia Cybernetica Web**, 1986. Disponível em: <<http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/HOMEOSTAT.html>>. Acesso em: março 2015.

KRIPPENDORFF, K. Synergy. **Principia Cybernetica Web**, 2018. Disponível em: <<http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/SYNERGY.html>>. Acesso em: janeiro 2018.

LANOIX, A. Openess to the world. **Societies & Territories**, 2019. Disponível em: <<http://blogdev.learnquebec.ca/societies/societies/quebec-around-1980/openness-to-the-world/>>. Acesso em: janeiro 2019.

LAU, W. The Restoration of Buckminster Fuller's Dome Home Kicks Off Saturday. **Technology. In: The Journal of the American Institute of Architects**, p. https://www.architectmagazine.com/technology/the-restoration-of-buckminster-fullers-dome-home-kicks-off-saturday_o, Abril 2014.

LAZARUS, N. BedZED: Toolkit Part I: A guide to construction materials for carbon neutral developments. **The BioRegional Development Group**, 2002.

LOVELOCK, J. **Gaia – Cura para um planeta doente**. Tradução de Aleph Teruya Eichemberg e Newton Roberval Eichemberg. São Paulo: Cultrix, 2006.

LUHMANN, N. **Ecological communication**. [S.l.]: University of Chicago Press, 1989.

MAGGIE. Montreal Biosphère fire, 1976. **findery**, 2012. Disponível em: <<https://findery.com/maggie/notes/montreal-biosphre-fire-1976>>. Acesso em: dezembro 2018.

MARGULIS, L.; SAGAN, D. **O que é vida?** Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda., 2002.

MASSEY, J. Buckminster Fuller's cybernetic pastoral: theUnited States Pavilion at Expo 67. **The Journal of Architecture**, v. 21:5, p. 795-815, 2016.

MATURANA, H.; VARELA, F. **De maquinas y seres vivos: autopoiesis, la organización de lo vivo**. Buenos Aires: Lumen, 2003.

MINGLE, K. Project Cybersyn. **99% Invisible**, 2016. Disponível em: <<https://99percentinvisible.org/episode/project-cybersyn/>>. Acesso em: janeiro 2019.

MTL BLOG. Everything You Never Knew About Montreal's Biosphere. **MTL Blog - Lifestyle**, 2019. Disponível em: <<https://www.mtlblog.com/lifestyle/everything-you-never-knew-about-montreals-biosphere>>. Acesso em: janeiro 2019.

O'DELL, C. Buckminster Fuller's Home in a Dome. **Sometimes Interesting**, 2015. Disponível em: <<https://sometimes-interesting.com/2015/06/18/buckminster-fullers-home-in-a-dome/>>. Acesso em: janeiro 2019.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. Tradução de Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PASK, G. The architectural relevance of cybernetics. **Architectural Design**, Setembro 1969.

PASK, G. FOREWORD. In: FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture**. London: Architecture Association, 1995. p. 6-7.

PICKERING, A. **The cybernetic brain: sketches of another future**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2010.

RÍOS, P. Chapter 5: Team Syntegrity. In: RÍOS, P. **Design and Diagnosis for Sustainable Organizations**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 201–216.

ROWE, D. Eden to celebrate 20 million visitors on Monday (April 9) with The Hunt for the Golden Biome. **Eden Project**, 2018. Disponível em: <<https://www.edenproject.com/media/2018/04/eden-to-celebrate-20-million-visitors-with-hunt-for-golden-biome>>. Acesso em: abril 2019.

ROY, E. A. New Zealand river granted same legal rights as human being. **The Guardian**, 2017. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2017/mar/16/new-zealand-river-granted-same-legal-rights-as-human-being?fbclid=IwAR3KiaZW1ojtr95Fy1vZJx5mz2_X4l6eXYfM333IVpnQ9QIljCK3E-eP-YM>. Acesso em: abril 2019.

SÃO FRANCISCO, P. Córtex Cerebral. **Portal São Francisco**, 2018. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/corpo-humano/cortex-cerebral>>. Acesso em: 20 novembro 2018.

SCHWANINGER, M. What can cybernetics contribute to the conscious evolution of organizations and society? **Systems Research and Behavioral Science**, v. 21, p. 515–527, 2004.

SCHWANINGER, M. Organizing for sustainability: a cybernetic concept for sustainable renewal. **Kybernetes**, v. 44, p. 935–954, 2015. ISSN 6/7.

SEABRIGHT, G. **Eden Project: Annual Review 2017/18**. Eden Project. [S.l.], p. 1–47. 2018.

SIGNIFICADOS. Sistema Nervoso. **Significados**, 2019. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/sistema-nervoso/>>. Acesso em: janeiro 2019.

SIMARD, S. W. How trees talk to each other. **Youtube**, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Un2yBgIAxYs&fbclid=IwAR2rOmAYg-t3AlsRrYjIz_3X6qAJVQKOjbasBOCAnEpILaezgE6Dkxd3gac>. Acesso em: janeiro 2019.

SIMARD, S. W. E. A. Mycorrhizal networks: mechanisms, ecology and modelling. **Fungal Biology Reviews**, v. 26, p. 39–60, 2012. ISSN 1.

SIMARD, S. W.; DURALL, D. M. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. **Canadian Journal of Botany**, v. 82, p. 1140–1165, 2004. ISSN 8.

SMIT, T. **Eden**. London: Penguin Random House UK, 2016.

SOCIÉTÉ DU PARC JEAN-DRAPEAU INC. The Dome Biosphere. **Parc Jean-Drapeau**, 2019. Disponível em: <<http://www.parcjeandrapeau.com/en/the-dome-biosphere-history/>>. Acesso em: janeiro 2019.

SUBRAMANIAN, S. Buck to the future. **aeon**, 2016. Disponível em: <<https://aeon.co/essays/why-the-high-tech-ideas-of-bucky-fuller-are-back-in-vogue>>. Acesso em: junho 2017.

THE GUARDIAN. Eden Project: 'More than just architecture, it's about relationships'. **Youtube**, 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2c3jXgpmliQ>>. Acesso em: março 2019.

THE MECHANICAL PHILOSOPHER. Buckminster Fuller Dome Home Restoration. **Youtube**, 2018-2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLgZlIEGb3KSS_B0ppreH6lcktcoc2LBT>. Acesso em: janeiro 2019.

THOMPSON, J. N. Prólogo de John N. Thompson. In: MENDEL, R.; AIZEN, M. A.; ZAMORA, R. **Ecología y evolución de interacciones planta-animal**. 1ª ed. ed. Santiago de Chile: Universitaria, 2009. p. 6-7.

VARELA, F. J. Introduction: The Ages of Heinz Von Foerster. **Observing systems**, Intersystems, 1984. xiii-xviii.

WIKIPEDIA. Montreal Biosphere. **Wikipedia**, 2018. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Montreal_Biosphere>. Acesso em: janeiro 2019.

ZED FACTORY. BedZED. **ZED Factory**, 2017. Disponível em: <<https://www.zedfactory.com/bedzed>>. Acesso em: julho 2017.