

Princípios Analógicos da Biomimética e sua aplicação nos Domus Geodésicos de Fuller

Abstract

Throughout the complex history of humanity, it is possible to verify the application of biological solutions at different times and in different areas, such as science, technology, architecture, design, engineering, medicine, among other attempts to nature human. This inspiration in nature has generated a number of biological inventions has allowed a large number of innovations and resources throughout human evolution. And it's not hard to understand why so many have used nature as a reference. Just compare the time of the appearance of man, considered only a recent 200,000 years, with the emergence of life on Earth, to understand that there is much more story to be told and analyzed within the 3.8 billion years that shaped all other forms of life that exist, from smallest to largest, the strongest to the weakest, from the simplest to the most complex, where the greatest proof of the adaptive success in half is simply the fact exist. It was because of this need to find a way already devised and perfected by nature to combat individual character issues through collective character of solutions, which emerged the scientific field called Biomimicry. Through careful analysis and observation of the aspects present in the environment and nature, we realize many influences around our field of action (design project). From this point of view, to analyze and establish principles of analogy between elements present in nature and fields of application discovery as did Fuller, we established a fruitful and elegant design activity.

Keywords: *Biomimicry, Geodesic Dome, Methods*

1. Introdução

O conceito de analogia na antiguidade clássica, era abordada pelos filósofos Aristóteles e Platão como uma abstração compartilhada, em que os objetos análogos compartilhavam algo em comum, seja uma ideia, um padrão, uma regularidade, um atributo ou uma função. Como método, a analogia ganha um carácter capaz de vencer problemas através de um raciocínio lógico, assim como ajuda na tomada de decisões, nos diferentes campos da criação, percepção e criatividade. Da sua aplicação resulta um amplo conjunto de soluções, aplicadas de forma diferente em conformidade com o interesse e conteúdo de cada ciência.

Sendo muito utilizado pela Biônica e a Biomimética, se revela muito útil em descobrir novos princípios, formas, processos, estruturas, etc.; contribuindo no processo de interpretação das estruturas naturais. Sendo assim, ao longo da história, este é o método mais comum utilizado para encontrar soluções de concepção com referência no mundo natural. Arruda (1993) descreve vários tipos de analogia: a funcional, a estrutural, a evolucionista, a orgânica, etc; e independente do tipo, todas estas podem contribuir na decodificação de geometrias, funcionamentos, e na busca, dentre outros aspectos, por um melhor aproveitamento energético e de material, conservando assim, os princípios da Biomimética.

Um exemplo claro de aplicação da Analogia é o que se pode notar nas obras arquitetônicas de Richard Buckminster Fuller (1895-1983). Um olhar não criterioso para os seus domos geodésicos pode não traduzir claramente os conceitos e a inspiração por traz das suas obras, como a forma é demasiadamente geométrica e artificial, isto pode levar ao equívoco em pensar que não haja nenhuma relação com a natureza, mas na verdade, a relação existe.

Gorman (2005) explica que os domos geodésicos tinham uma estrutura arquitetônica que buscou inspiração no macrocosmo, considerando as esferas terrestres e celestial, e no microcosmo, considerando microorganismos e a radiolária. Eram a representação de um “exoesqueleto”, que ele traduziu em conceitos geométricos.

Esse arquiteto e engenheiro autodidata já compartilhava dessa mesma ideia e baseou toda uma trajetória de pesquisas e projetos guiados pelo mesmo princípio que os seres vivos utilizam para as suas criações na natureza, o de fazer o uso máximo com recursos mínimos (“*More with Less*”). Considerado um dos precursores do design responsivo e do discurso sustentável, ele sintetizou nas suas cúpulas geodésicas a expressão máxima desse conceito (figura 1), pois elas representam as maiores estruturas que podem ser construídas com a menor quantidade de material possível.

“O nosso planeta, a “Espaçonave Terra”, não tem uma fonte inesgotável de petróleo, madeira, água, ar limpo e outros recursos naturais... Na

medida em que vai se povoando mais e mais, é muito importante pensar como as pessoas possam viver melhor com os mesmos recursos. Uma forma é reduzir a quantidade de materiais desperdiçados, para que outra pessoa possa aproveitar...você também pode melhorar a qualidade dos materiais e encontrar melhores maneiras de usar cada grama de material, unidade de energia e minuto de tempo.” (FULLER, 1968)

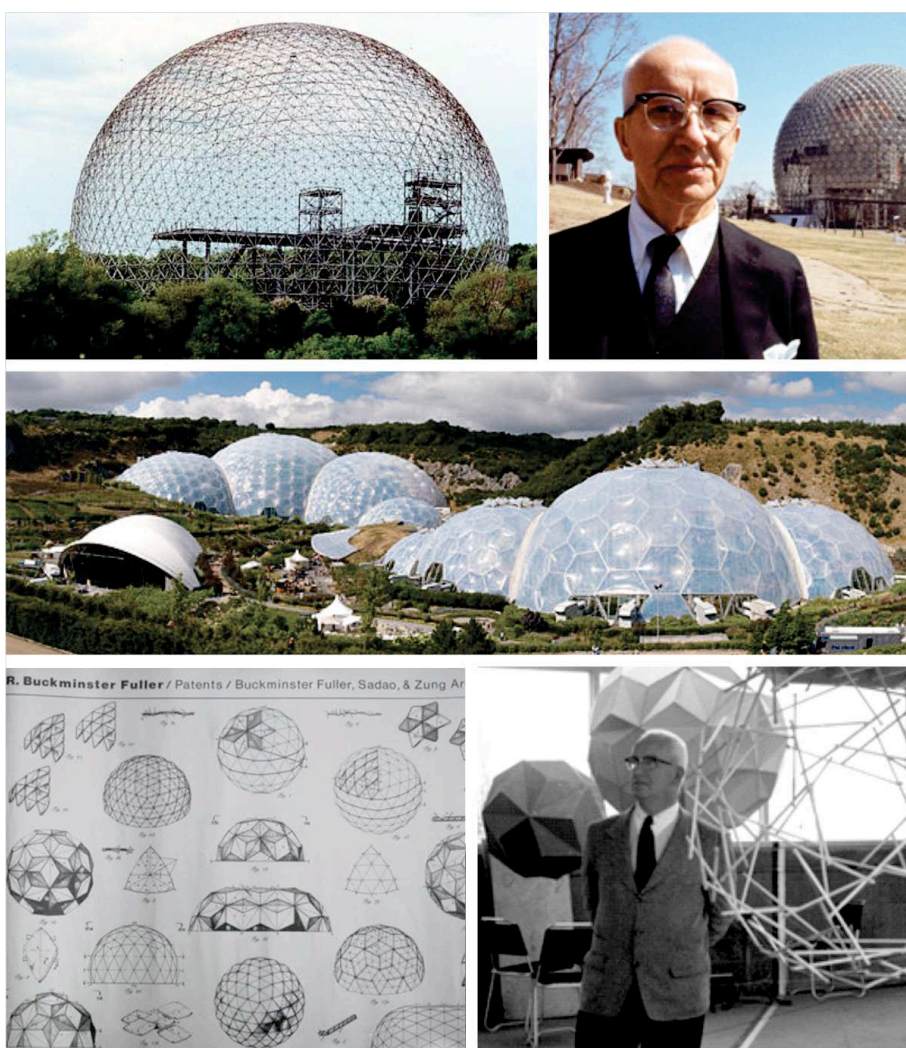


Fig.1 Buckminster, a geodésica de Montreal e estudos de geodésicas. (Fonte: Google)

2. Biomimética e Geodésicas

O Biomimetismo é uma abordagem tecnologicamente orientada para aplicar as lições de design da natureza buscando solucionar os problemas do homem. É possível verificar, principalmente no método da analogia, relações frequentes com a natureza para encontrar soluções projetuais. Os estudos da Biomimética são embasados nas soluções naturais de projeto, decodificando geometrias e funcionamentos, na busca do melhor aproveitamento e do menor gasto de energia.

Segundo Arruda (2002), o termo Biônica foi inventado, em 1958, pelo Engenheiro da Força Aérea dos E.U.A Major Jack. E. Steele e foi definido como “a análise das formas pelas quais os sistemas vivos atuam e têm descoberto os artificios da natureza”. O termo Biônica - do grego “elemento de vida”- foi oficialmente usado como título de um simpósio em setembro de 1960. Ainda segundo Arruda (2002), a Biônica é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, de formas, etc.) e a aplicação destes princípios e processos na procura de soluções para os problemas que a humanidade encontra. Uma vez que a Biônica lida com a aplicação das estruturas, procedimentos e princípios de sistemas biológicos, foi convertida em um campo interdisciplinar que combina a biologia com a engenharia, a arquitetura, e a matemática.

Wahl (2006), sugere que a Biônica e o Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biônica trata da previsão, manipulação e controle da natureza, o Biomimetismo aspira a participação na natureza e, por isso, constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade. Depois de investigar um extenso número de pesquisas, Janine Benyus documentou e integrou suas descobertas em Biomimicry - Innovation Inspired by nature. Este novo termo - Biomimética - é caracterizado por ser mais amplo que o conceito de Biônica, conhecido até então. Além de considerar a imitação da forma biológica, o Biomimetismo inclui também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos. Um projeto biomimético deve respeitar os seguintes princípios:

- **A natureza como modelo:** Inspiração e mimese das soluções da natureza para aplicações práticas;
- **A natureza como medida:** Utilização do padrão ecológico como parâmetro para as inovações;
- **A natureza como mentora:** Visão que busca valorizar, respeitar e principalmente aprender com a natureza ao invés de apenas extrair dela. (BENYUS,2012)

Segundo Benyus (2012), em uma sociedade acostumada a dominar ou "melhorar" a natureza, imitá-la de forma respeitosa é uma abordagem radicalmente nova, uma revolução de verdade. Ao contrário da Revolução Industrial, a Revolução Biomimetismo apresenta uma era baseada não no que se pode extrair da natureza, mas sobre o que é possível aprender com ela. Fazendo as coisas à maneira da natureza, é possível mudar a forma de cultivar alimentos, de produzir materiais, de gerar energia, de curar, de armazenar informações e de realizar negócios e construir moradias. Depois de 3,8 bilhões anos de pesquisa e desenvolvimento, as falhas são fósseis, e aquilo que nos rodeia é o segredo para a sobrevivência. A respeito dessa engenhosidade e sabedoria presentes na natureza, Leonardo da Vinci faz a seguinte afirmação:

A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo. (Leonardo da Vinci 2004).

3. Projetos em Biomimética

Em muitos casos, a Biomimética apresenta-se como uma ferramenta estratégica de inovação capaz de solucionar problemas técnicos e de potencializar o desenvolvimento de produtos humanos, contando com o know-how e a expertise de ensinamentos sem precedentes armazenados há milhões de anos nas espécies sobreviventes mais bem adaptadas graças ao processo de evolução. O resultado disto é que o design biomimético pode efetivamente contribuir nas abordagens mecânicas-funcionais e estéticas-formais de artefatos, traduzindo nestes um maior apuro estético e ganho em eficiência. O designer galês Ross Lovegrove é um dos mais famosos a utilizar o processo criativo baseado em Biomimética, ele se inspira em organismos vivos para criar objetos. Em seu estúdio localizado em Londres, estão vários modelos de estudo da forma e também muitos dos seus produtos geniais como a escada DNA, luminárias e cadeiras orgânicas e a famosa garrafa d'água desenhada para a empresa francesa Volvic.

“Sou um biólogo evolucionista, mais do que um designer. Eu não sei mais o que é design, eu crio formas, eu compreendo formas e eu estou gostando da era digital para criá-las. Eu espero levar isso ainda mais longe. Meu trabalho também se relaciona com a natureza, em um sentido evolucionário na medida em que me preocupo com redução. Eu exercito o que é chamado de “essencialismo orgânico” o que significa usar nada mais, nada menos do que o necessário. Eu me sinto confortável nessa era orgânica, isomórfica, antropomórfica, líquida de fazer coisas, mas eu tento não forçar isso em coisas que não precisem disso.” (Ross Lovegrove).

Apelidado de “Captain Organic”, ele define seu conceito de criação como DNA (Design, Natureza e Arte), que representam as três coisas que condicionam o seu mundo. Como possui profunda admiração pela genialidade das soluções naturais, seus projetos imprimem a sua visão primorosa dessa organicidade de formas mais com o enfoque estético do que funcional. Ele acredita que na beleza da forma reside a sua ligação pessoal com a natureza, cujas configurações são a fonte original do belo, o que justifica a sua obsessão em poetizar formas orgânicas. Seus projetos traduzem muito bem este conceito, como a escada “hélice de DNA”, cujo corrimão é feito em uma peça única de fibra de carbono. Lovegrove se considera um tradutor das tecnologias do séc XXI. Em seu projeto, muitas vezes utiliza softwares que manipulam as formas de maneira livre sem parâmetros dimensionais, o que gera resultados casuais selecionados pelas suas propriedades estéticas. Ele direciona a utilização de bio-polímeros em seus novos projetos, pois acredita que este é o material do futuro. Preocupado com questões sustentáveis, não costuma pintar os produtos que desenha e utiliza sempre a textura original do material. Apesar de ter muita afinidade com o ambiente fabril, ele se preocupa em criar mais produtos num mundo, segundo ele, já “overdoseado”.

“O projeto da garrafa d’água Ty Nant, representa a sua impressão pessoal da água, ele queria um tributo ao elemento. Para este desenvolvimento, primeiro tentou simular na oficina as formas orgânicas e fluidas da água, mas as tentativas foram frustradas parecendo mais um “carro amassado”. Depois de muito tentar, deixou a forma ser desenhada pela própria água através de software especializado, e o resultado foi uma série de linhas delicadas e espontâneas que pareciam ter a mesma fluidez da água, transmitindo a impressão de ter em mãos não a garrafa, mas a própria água envolta em sua pele natural”.
(LOVEGROOVE, 2004)

Apesar da forma demasiadamente geométrica, Gorman (2005) explica que Buckminster buscou inspiração para as estruturas geodésicas na radiolária (figura 2), microorganismos do plâncton marinho (microcosmo). Além dessa referência natural, ele também fez analogia com as formas esféricas dos planetas e outros astros celestes (macrocosmo). Ele acreditava que a natureza favorecia os designs geodésicos maximamente econômicos e por isto, estes deveriam ser um reflexo da estrutura fundamental do cosmos.

Observe que a geodésica de Fuller já estabelecia uma forte ligação com estes princípios mesmo antes de terem sido definidos, pois se baseou na forma estrutural de um organismo natural (*natureza como modelo*); criando uma solução que possui máxima eficiência estrutural com o mínimo de materiais (*natureza como medida*), para contemplar uma melhoria na habitação humana, através de um abrigo mais confortável, eficiente e economicamente acessível a um maior número de pessoas (*natureza como mentora*).

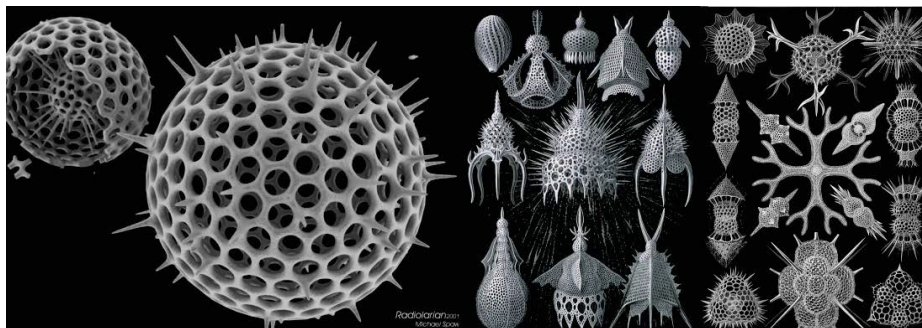


Fig.2 Imagens de Radiolários (HAECKEL, 2005)

4. As Geodésicas de Fuller

Forlani (1983) cita que em 1922, Bauersfeld, cientista alemão chefe de design da indústria ótica Carls Zeiss, desenvolveu a primeira cúpula geodésica revestida de cimento para abrigar um planetário, mas foi Fuller quem descobriu suas leis formadoras, construindo e divulgando suas propriedades em inúmeros estudos de otimização e por ela recebeu a patente de nº 2.682.235 em 1954 (figura 3), tornando-a um ícone da arquitetura moderna da década 50.

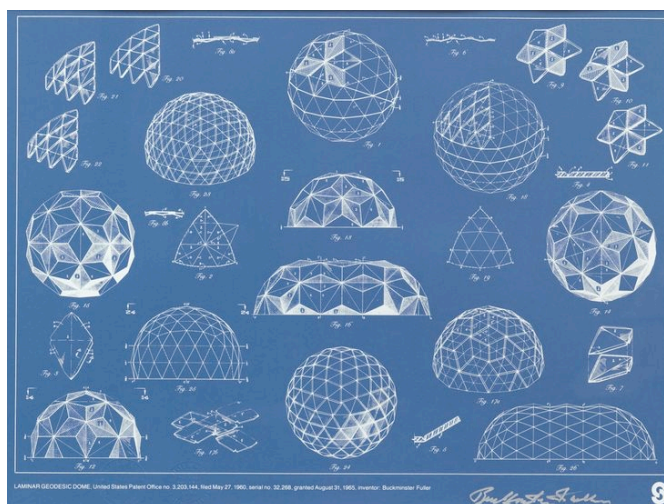


Fig.3 Desenhos do registro de patente da cúpula geodésica de Fuller (Fonte: google)

A estrutura Geodésica corresponde a uma malha triangular que cobre a superfície de uma esfera que, na maioria das vezes, deriva de poliedros regulares platônicos com face triangular, são eles: o tetraedro, o octaedro e o mais comum a ser utilizado, inclusive por Fuller, o icosaedro (com 20 lados), por ser o mais arredondado dos 3. Se estiver completa será chamada de esfera geodésica, e domo ou cúpula geodésica quando incompleta, parecer apenas um hemisfério. Para gerar diferentes estruturas geodésicas a partir do icosaedro, basta aumentar o número de frequência, ou seja, subdividir as faces triangulares em triângulos cada vez menores, quanto mais alta a frequência, maior o número de triângulos no qual sua superfície está subdividida e mais a sua aparência torna-se arredondada (figura 4). Um icosaedro é considerado uma esfera geodésica de frequência 1. Cúpulas e esferas geodésicas podem configurar em diferentes frequências para o mesmo diâmetro.

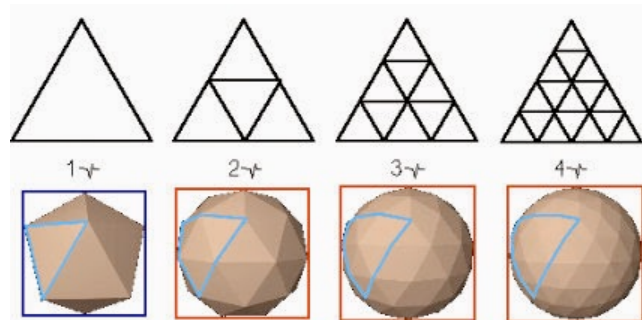


Fig.4 Esferas geodésicas de diferentes frequências (Fonte: google)

Embora existam outras possibilidades de sistemas construtivos de uma cúpula Geodésica, a mais básica é composta por três elementos principais: os Nós (conectores das barras), as Barras e o Sistema de Cobertura (se a estrutura for fechada). Sabendo-se o raio da cúpula que se pretende construir e definindo a frequência que se deseja, há a possibilidade de calcular as dimensões e quantidade das barras e nós que são necessários. Para facilitar estes cálculos, uma ferramenta chamada calculadora geodésica disponível em websites, consegue de maneira mais rápida, o número de arestas, vértices, faces, ângulos e dimensões das barras necessários para a construção, gerando também um modelo virtual tridimensional. Um fato importante a ser considerado é que a partir da frequência 2 em diante, existirão triângulos com dimensões diferentes e por isto, é interessante construir previamente uma maquete baseada neste modelo virtual para facilitar a montagem; assim como escolher os materiais, o tipo de nó e a cobertura se houver.

4.1 Vantagens da Geometria

Verschleisser (2008) diz que as cúpulas geodésicas possuem auto sustentação com extraordinária resistência e leveza devido à sua forma esférica e às formas geométricas que as constituem, elas se comunicam e se apoiam umas nas outras criando um sistema chamado por Fuller de *tensegridade*, em que qualquer força aplicada em uma delas retransmite a tensão e a distribui igualmente entre as demais até a sua base, assim como os arcos na engenharia. E grande parte dessa vantagem estrutural vem da grande estabilidade proporcionada por sua malha triangular. Um triângulo é um elemento estável independente do seu tamanho, são as únicas formas que permanecem rígidas, mesmo quando construídas com conexões flexíveis tendo cada vértice estabilizado pelo lado oposto. Quando forças geram uma forma estabilizada, isto é, capaz de se auto sustentar, criam uma Estrutura. Por isto os poliedros formados totalmente por faces triangulares regulares correspondem as estruturas mais auto-estabilizadas, e por conseguinte, são os mais indicados e utilizados por Fuller nas configurações de geodésicas. O mesmo não ocorre com quadrados, pentágonos, hexágonos, por exemplo, que quando construídos com conexões flexíveis, tendem a deformar, se tornando por isto, mais instáveis. Desta forma, os sólidos esféricos derivados de outra malha que não a triangular, são vistos em aplicações especiais em conjunto com a malha triangular. (Pearce,1980).

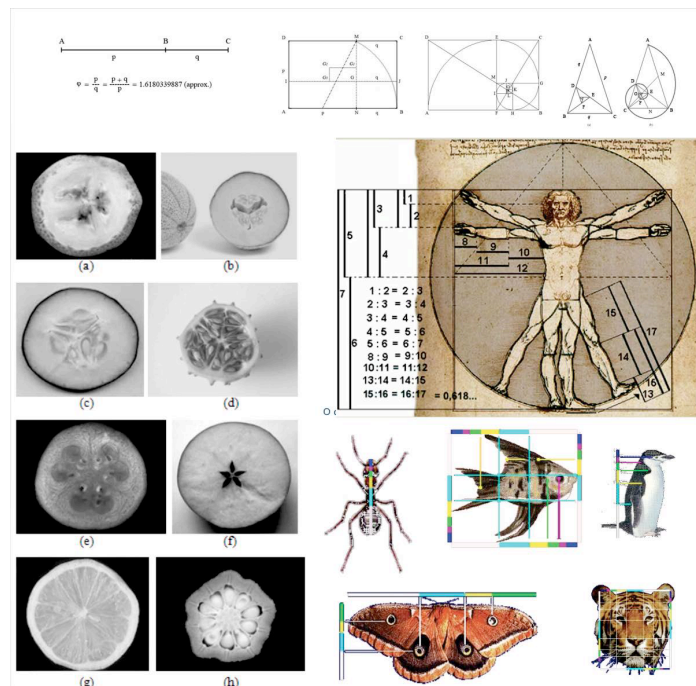


Fig.5 Representações da natureza em diferentes frequências (Fonte: google)

4.2 Vantagens Construtivas

A arquitetura para Fuller, tinha como objetivo criar abrigos versáteis, baratos, eficientes energeticamente, leves e flexíveis: máquinas de habitar, capazes de se modificar conforme as necessidades de quem as habitasse. E em mais de 50 anos de existência das cúpulas geodésicas, novos usos têm acrescentado a lista mais características vantajosas desse sucesso inventivo. Adepta das ideias de Fuller e a fim de incentivar este tipo de construção, a empresa **Genesis Geodésica** que trabalha a mais de 10 anos com Bioconstruções, promove workshops e palestras em países europeus e americanos e ainda disponibiliza materiais informativos sobre o assunto em seu site. A seguir, um resumo sobre as vantagens contabilizadas pela empresa com relação a este tipo de construção:

a) Força estrutural: A forma geodésica otimiza a carga, propriedade da tensegridade, deslocando as forças em toda sua estrutura, uma vantagem à frente das estruturas retangulares dos edifícios tradicionais;

b) Economia: Estimativa de redução de 30% de materiais, 50% de energia em relação a uma construção convencional de alvenaria de mesma área construída; E também redução de custos com a mão de obra, pois a montagem é mais rápida, fácil e simples;

c) Leveza: Tendo menos material, menos área de superfície (em certos casos, até ausência de paredes internas) e composto de materiais mais leves que a alvenaria, alguns exemplares de Fuller já montados inclusive, eram carregados e transportados por helicópteros;

c) Segurança: O design da cúpula geodésica é ergonômico, aerodinâmico e forte para resistir a situações extremas como: ventos fortes, tempestades, terremotos e acumulação de neve (Fuller projetou vários exemplares para observatórios e laboratórios na Antártica). Quanto mais forte o vento, não tendo superfícies de sucção, ele o rodeia e o afirma mais no terreno;

d) Concentrador da luz e calor: As coberturas de vidro translúcido os tornam como excelentes coletores de energia solar, refletindo a luz e o calor para dentro da estrutura como uma estufa, evitando a perda do calor por irradiação;

e) Menor superfície de parede exposta no exterior em relação a superfície coberta. Benefício próprio da esfera, que reduz a superfície exposta ao exterior (melhorando a temperatura interior);

f) Melhor ventilação e fluxo de ar. A ventilação do domo, com adequadas aberturas na base, meio e topo, fornece uma excelente mistura do ar e temperatura, funcionando como uma chaminé, de embaixo para acima;

g) Distribuição excelente do ar. A boa circulação do ar, devido a forma esférica, não permitem o estancamento de ar que pode criar proliferação de fungos, bactérias ou umidade;

h) Temperatura mais uniforme. Devido ao fluxo melhorado do ar, a temperatura é mais uniforme do que é numa habitação convencional. Não tem pontos frios nem quentes;

i) Barato de aquecer. O volume de ar dentro do domo é menor do que numa habitação convencional: é mais barato mantê-lo morno no inverno, poupando até o 50% em energia;

j) Um design original, um novo estilo, esteticamente belo: a cúpula é uma estrutura abobadada da antiguidade que agora está voltando. Tem um design belo, exaltado e melhorado pelos métodos modernos da construção;

k) Reprodução de formas celestes e belas geometrias: devido a forma abobadada dos domos podem reproduzir o céu e as estrelas, isto traz coisas interessantes para parques temáticos, igrejas ou planetários. As formas geométricas resultantes interiores são atrativas e belas;

l) Desenhado como kit autoconstruído. Com adequadas instruções é muito fácil armá-lo. Na sua construção podem participar pessoas pouco experimentadas, poupando muito dinheiro na mão de obra;

m) Fortaleza para pendurar estruturas no seu interior: o teto e os muros do domo podem tolerar com total segurança estruturas suspensas, como plantas, prateleiras e mezaninos;

n) Construção em lugares remotos, disponibilidade dos materiais: métodos simples de construção e disponibilidade dos materiais básicos faz da construção de domos em áreas remotas seja fácil e rápida. Já foram construídos domos por todo o mundo, de desertos até os polos;

o) Padrão de circulação radial: nas escolas, o padrão circular elimina os corredores; nos teatros e igrejas possibilitam maior número de cadeiras e melhor visibilidade. Nas estufas melhoram a incidência solar e nas casas otimizam os espaços;

p) Interiores diáfanos: sem vigas, colunas ou paredes de suporte interiores;

q) Menores taxas das companhias de seguros: já que o domo é praticamente indestrutível, pode assegurar a menor preço;

r) Pequena sedimentação. Devido a estrutura leve, não precisa um alicerce complicado.

Há duas razões principais para a eficiência das cúpulas em termos energéticos. Primeiro, o fluxo de ar ambiente dentro da cúpula é contínua, sem cantos estagnados, exigindo menos

energia para circular o ar e manter até mesmo temperaturas. A energia necessária para aquecer e arrefecer uma cúpula é de cerca de 30% menos do que uma construção convencional. A segunda é a elevada proporção de volume total para a área superficial, o que requer menos materiais de construção para incluir mais espaço. Quanto menor a proporção de perímetro exterior de um edifício para a sua sala de estar fechado, menos energia é necessária para a construção, aquecimento e refrigeração. A esfera tem 25% menos área de superfície por volume fechado do que qualquer outra forma. A cúpula combina a estabilidade inerente dos triângulos com a proporção vantajosa volume x área de superfície de uma esfera. Quanto maior for a cúpula, o mais eficaz ele se torna. Isto é demonstrado pela duplicação do diâmetro, que envolve oito vezes o volume. Grande estabilidade e resistência mecânica, extraordinária resistência e leveza. A sua estrutura consiste em barras de qualquer material, e o domo pode ser feito em qualquer dimensão, desde que o tamanho das suas barras seja calculado corretamente.

5. Conclusão

Estabelecer esta relação entre as geodésicas e a Biomimética se demonstra relevante, pois como já foi demonstrado, tanto um assunto quanto o outro contribuem através de seus fundamentos para gerar alternativas eficientes dentro do contexto de construções sustentáveis. E por isto é importante tornar estas estruturas e suas vantagens construtivas mais conhecidas, resgatando também a filosofia biomimética de Fuller tão coerente para o contexto atual, a fim de estimular a curiosidade e o interesse de se pensar em outras soluções sustentáveis, em detrimento a essa tendência estabelecida de padronização vertical dos espaços urbanos.

Na era da informação digital, existem muitos de sites, blogs e até mesmo vídeos de pessoas/empresas de diferentes lugares do globo compartilhando seus conhecimentos e experiências na construção de cúpulas geodésicas. Cada vez mais, os avanços tecnológicos têm oferecido diversas possibilidades de soluções para problemas com construções deste tipo. A criatividade para corresponder a teoria aos novos processos de produção e materiais têm possibilitado novas aplicações e novos usos em finalidades diversas. Que um número cada vez maior de pesquisadores e projetistas, sejam eles, arquitetos, designers ou engenheiros possam identificar o grande potencial em se utilizar tais configurações e se inspirem para criar com eficiência e sustentabilidade, o que se traduzirá ao longo dos próximos anos, em mais expectativa e qualidade de vida para a humanidade.

6. Referências

- ARRUDA, A.J.V. *Basic Bionic: Verso un nuovo modello di ricerca progettuale*, Tese de doutorado. Politecnico de Milao, CAPES. Italia. 2003.
- BENYUS, J. M. (2012) *Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza*. 6. ed. São Paulo: Ed. Pensamento-Cultrix.
- DINIZ, J.A.V. (2006) *Estruturas Geodésicas: Estudos Retrospectivos e Proposta para um Espaço de Educação Ambiental*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.
- FORLANI. M.C. (1983) *Materiali Strutture Forme*. Firenze: Alinea.
- FULLER, R. B. (1981) *Critical Path*. New York: St. Martin's Press.
- _____, R. B. (1968). *Operation Manual for Spaceship Earth*. New York: Feffer & Simons.
- _____, R. B.; Applewhite, E.J. (1975) *Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking*. New York: Macmilian.
- _____, R. B.; Applewhite, E.J. (1979) *Synergetics 2: Further Explorations in the Geometry of Thinking*. New York: Macmilian.
- _____, R. B. (1969) *Utopia or Oblivion: the Prospects for Humanity*. New York: Bentam Books.
- GORMAN, J. M. (2005) *Buckminster Fuller: Designing for Mobility*. Milano: Skira Editore S.p.A.
- HAECKEL, E. (2005) *Art Forms From the Ocean*. New York: Prestel.
- LOTUFO, V. A.; Lopes, J. M. A. (1981) *Geodésicas & Cia*. 1ª ed. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda..
- PEARCE, P. (1980). *Structure in Nature is a Strategy for Design*. Massachusetts: The MIT Press. 264 p.
- VERSCHLEISSER, R. (2008) *Aplicação de Estruturas de Bambu no Design de Objetos. Como Construir Objetos Leves, Resistentes, Ecológicos, e de Baixo Custo*. Tese (Doutorado em Design) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- WAHL, D. C. (2006). *Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 87, 2006.
- VINCI, L. D. Da Vinci por ele mesmo/ tradutor Marcos Malvezi. São Paulo: Madras, 2004
- MATINI, M. R.; KNIPPERS, J. *Application of "abstract formal patterns" for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2008.