

A RELAÇÃO ENTRE A BIOMIMÉTICA E A GEODÉSICA DE BUCKMINSTER FULLER NO PLANEJAMENTO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

T. L. F. Soares, A. J. V. Arruda, C. L. F. Hartkopf, J. S. N. Barbosa, R. F. P. Balestra

RESUMO

Este artigo procura estabelecer a relação entre a Biomimética e as geodésicas de Fuller e também explicar suas características e vantagens, exemplificadas através de exemplos contemporâneos destas estruturas que se traduzem como uma excelente alternativa de construção espacial sustentável em detrimento a tendência estabelecida de verticalização dos espaços, resgatando o contato com o plano e também com a natureza, o que resulta na melhoria da qualidade de vida das comunidades que as adotam.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 60 anos, o acelerado aumento da densidade demográfica nos grandes centros urbanos fez proliferar os modelos de construção vertical, tornando-os uma tendência estabelecida e prioritária. Porém, isto tem desencadeado uma profunda mudança na paisagem das cidades, de onde emergem cada vez mais e sem planejamento urbanístico, prédios com espaços habitacionais cada vez mais reduzidos, provocados, dentre outros fatores, pelos valores exorbitantes da alta especulação imobiliária. Um dos caminhos que têm se demonstrado bastante promissor para solucionar este e outros problemas vem de um olhar mais criterioso da natureza, através dos princípios de uma nova ciência chamada Biomimética.

De maneira resumida, Janine Benyus, principal disseminadora do tema, diz que esta ciência se concentra em estudar modelos e processos da natureza para encontrar soluções para problemas humanos, visto que depois de mais de 3,8 bilhões de anos de evolução, as formas naturais representam exatamente aquilo que funciona, é mais apropriado, econômico e durável. Desta forma, é possível entender que antes mesmo do homem existir, a natureza já tinha dado origem, há tempos, a “alta tecnologia” capaz de feitos incríveis, tais como: otimização de espaços compactos, impermeabilização, mobilidade econômica, alta resistência, controle de temperatura, construção de habitats, estruturas e mecanismos que refletem até mesmo um sentido de “ordem social”, sendo estes apenas uma ínfima porção do que se pode com ela aprender.

Ainda no século passado, o arquiteto e engenheiro autodidata Buckminster Fuller 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 Buckmisnter, estudos de geodésicas e em destaque a Geodésica de Montreal.
(Fonte: <https://bfi.org>)

2 BIONICA, BIOMIMÉTICA E AS GEODÉSICAS

O Biomimetismo ou a Biônica são abordagens tecnologicamente orientadas 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 Biônica e 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 artifícios 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 a Biomimética representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a primeira trata da previsão, manipulação e controle da natureza, a segunda aspira a participação da 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 no livro *Biomimicry - Innovation Inspired by nature*, dando a este novo termo uma abordagem mais ampla que o conceito de Biônica, conhecido até então, pois além de considerar a imitação da forma biológica, a Biomimética inclui também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos.

Para esta autora, 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.

Ainda de acordo com 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 Biomimética 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, de realizar negócios e construir moradias. A respeito dessa engenhosidade e sabedoria presente 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.” (VINCI, 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.

Observa-se portanto 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*).

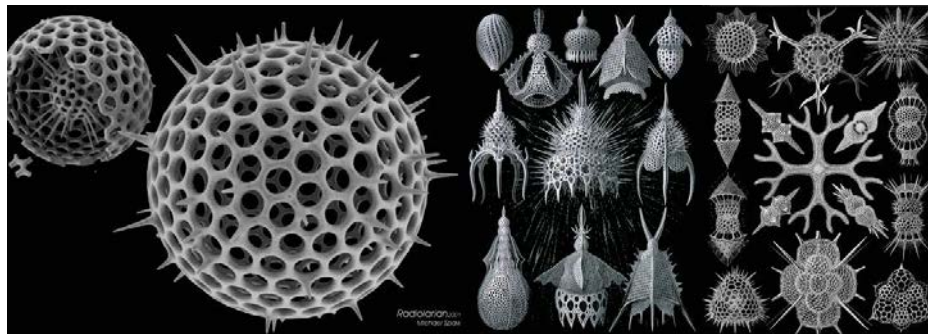


Fig.2 Imagens de Radiolários (HAECKEL, 2005)

A biomimética é uma ferramenta que pode transformar a visão do homem sobre o mundo e diversas pesquisas comprovam a sua utilidade. A exemplos, o artigo *Application of abstract formal patterns for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture*, de Matini & Knippers (2008), descreve um método que transmite os princípios naturais para estruturas arquitetônicas, apresentando um modelo abstrato baseado no estudo de caso das deformações do corpo da minhoca que se move por meio de ondas de contrações musculares, que alternadamente encurtam e alongam o corpo.

3 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.

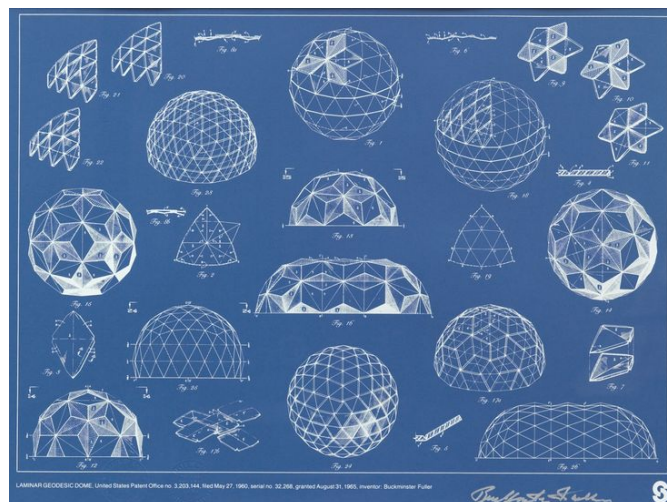


Fig.3 Desenhos do registro da patente da cúpula geodésica de Fuller
(Fonte: <https://www.aspireauctions.com>)

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.

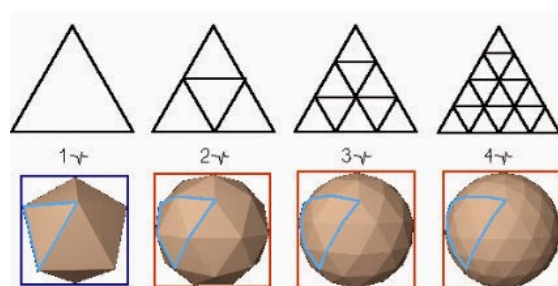


Fig.4 Esferas geodésicas de diferentes frequências (Fonte: <http://ebioconstrucao.blogspot.com.br>)

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 calculadora geodésica (Figura 5), disponível em websites como o desertdomes.com ou o simplydifferently.org, fornece de maneira mais rápida, o número de arestas, vértices, faces, ângulos, dimensões das barras necessárias para a construção e também um modelo virtual tridimensional. Um fato importante a ser considerado é que a partir da frequência 2 em diante, os triângulos não serão mais equiláteros, portanto seus lados terão 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.

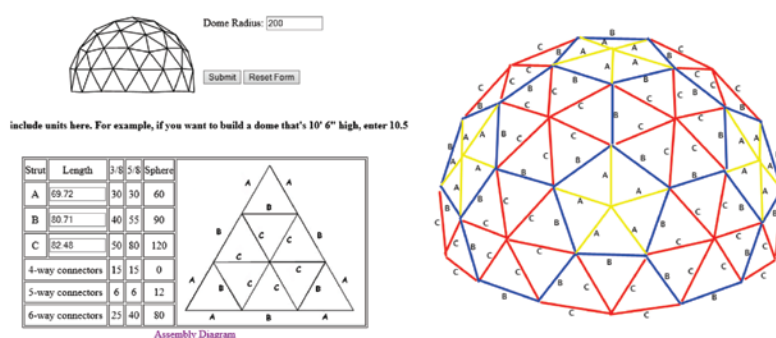


Fig.5 Interface de uma Calculadora Geodésica (Fonte: www.desertdomes.com/dome3calc.html)

3.1 Vantagens da Geometria

Verschleisser (2008) fala 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.

Grande parte dessa vantagem estrutural vem da enorme 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. Desta forma, 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. Portanto, os sólidos esféricos derivados de outra malha que não a triangular, são mais adequados em aplicações especiais em conjunto com a malha triangular. (PEARCE,1980)

3.2 Vantagens Construtivas

A arquitetura para Fuller tinha como objetivo criar abrigos versáteis, baratos, eficientes energeticamente, leves e flexíveis: máquinas de morar, 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 argentino-brasileira **Genesis Geodésica**, que possui escritórios em Mar del Plata (ARG) e em Florianópolis (BRA), trabalha a mais de 10 anos com Bioconstruções e ainda promove workshops e palestras em países europeus e americanos sobre o tema. A seguir, serão resumidas de forma explicativa as vantagens contabilizadas por esta empresa com relação a este tipo de construção, de acordo com os materiais informativos disponíveis em seu website:

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: 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/área de superfície de uma esfera. Quanto maior for a cúpula, mais eficaz ela se torna. Isto é demonstrado duplicando o seu diâmetro, que resulta no aumento do volume em oito vezes. Com isso precisa de menos materiais de construção para incluir mais espaço. Há uma estimativa de redução de 30% de materiais e 50% de energia em relação a uma construção convencional de alvenaria de mesma área construída; Redução também de custos com a mão de obra, pois a montagem é mais fácil, simples e rápida;

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, conseguiam ser carregados e transportados até mesmo 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) Temperatura mais uniforme: Devido ao fluxo melhorado do ar, a temperatura é mais uniforme do que numa habitação convencional. A área de superfície exposta no exterior nas cúpulas também é menor, permitindo menos troca de calor com o ambiente. Aliado a isto, o volume de ar dentro da cúpula também é menor, o que se traduz em economia para se manter morno no inverno, ou frio no verão, poupando-se até 50% em energia para aquecer ou esfriar.

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, essa situação se torna útil por exemplo para regiões com invernos rigorosos tanto para habitações quanto para estufas de plantas;

e) Melhor ventilação e fluxo de ar: Com as devidas aberturas, sua geometria fornece uma excelente mistura do ar e temperatura, promovendo uma distribuição excelente que não permite o estancamento de ar, evitando assim, a proliferação de fungos, bactérias e umidade; com essa distribuição de fluxos de ar, a propagação de odores é uma característica que pode ser bem aproveitada por estabelecimentos comerciais de alimentação;

f) Padrão de circulação radial: nas escolas, o padrão circular elimina os corredores; nos teatros e igrejas, possibilita maior número de cadeiras e melhor visibilidade; nas vivendas otimizam os espaços e permite a criação de espaços mais sociáveis;

g) Coberturas autossustentáveis: Independente do tamanho, permite sempre amplos espaços desobstruídos sem a necessidade de vigas, colunas ou paredes de suporte interiores;

h) Facilidade e rapidez na montagem: Com método simples de construção, ainda existe a possibilidade de comprar kits prontos para a montagem que com instruções, tornam o processo de armar ainda mais fácil e rápido até mesmo por pessoas com pouca experiência.

i) Construção em lugares remotos: Com poucos e leves materiais e sendo de fácil montagem, torna-se bem indicado até mesmo para lugares ermos, como desertos, pólos, florestas, praias, montanhas, etc.;

j) Alicerce mais simples: Devido a estrutura mais leve, não precisa um alicerce complicado;

l) Variedade de materiais: Podem ser construídas praticamente com qualquer material (bambu, aço, madeira, concreto, pvc, etc.); e podem obter qualquer dimensão, desde que o tamanho das suas barras seja calculado corretamente.

h) Design original, geometricamente belo: Novos materiais e métodos de construção permitem uma quebra de paradigma em detrimento ao padrão ortogonal na arquitetura e no design de interiores. Além disso, podem ser ressaltadas formas geométricas atrativas e belas resultantes no seu interior;

Além destas, Lotufo (1981) ressalta ainda a qualidade acústica proporcionada pelos domos, sendo bem indicados por isto para igrejas, teatros, estúdios, etc. Também comenta que psicologicamente o redondo é muito mais acolhedor que o ortogonal utilizando o exemplo da sensação de opressão transmitida por uma laje plana em cima da cabeça em detrimento da curvatura côncava no interior do domo, que por maior que seja, se percebe acolhedor. Uma última vantagem segundo este autor trata do aspecto de modularidade neste tipo de construção, que por apresentar peças semelhantes, facilita o processo de fabricação em série, reduzindo custos e desperdícios, contribuindo para a sustentabilidade.

4 EXEMPLOS CONTEMPORÂNEOS

Todas estas vantagens explicam porque as geodésicas se traduzem como soluções eficientes no contexto de construções sustentáveis e justificam as mais de 300.000 replicações deste tipo de construção ao redor do mundo. Para melhor ilustrar os argumentos citados, a seguir serão descritos 2 exemplos atuais aplicados:

4.1 Ecocamp Patagônia (Chile)

O EcoCamp é um hotel sustentável localizado na Patagônia com vista privilegiada para a região montanhosa Torres del Paine. Fundado em 1999 pelos engenheiros e proprietários da Cascada Expediciones (empresa de turismo aventureiro) Javier Lopez and Yerko Ivelic, foi o pioneiro em construir quartos de hotel com cúpulas geodésicas, tal configuração também é uma referência das originais cabanas indígenas na região. O aspecto social é um de seus atributos mais célebres. Os locais para as refeições, aulas de yoga, biblioteca, loja ou bar são cúpulas comunitárias que fornecem um ponto de encontro onde hóspedes podem compartilhar histórias entre si e planejar futuras excursões. (figura 6)

Como na maioria dos hotéis, existem 4 opções de cúpulas para se hospedar (*Standard, Suíte, Loft e Superior*), já ganhou vários prêmios de sustentabilidade sendo inclusive o primeiro com certificação ISO14001 na Patagônia. Várias são as razões dele ser considerado eco-friendly, pois tem testado e instalado tecnologia verde continuamente. A energia vem de painéis solares e de uma turbina hidráulica, as cúpulas verdes maximizam o calor e a iluminação solar eficiente, os materiais empregados na construção são recicláveis, as passarelas foram projetadas para minimizar a interrupção do terreno com o entorno e os banheiros possuem os mais avançados dispositivos de compostagem do mundo. O hotel ainda oferece várias atividades e excursões com guias especializados, cuja maioria são moradores que cresceram na região e estudaram eco-turismo em áreas como geologia, ornitologia e botânica na universidade. Também ganhou outros prêmios da *National Geographic* pela sua liderança em turismo de aventura na Patagônia com terrenos selvagens entre montanhas escarpadas e rios glaciais.



Fig.6 Ecocamp Patagônia (Fonte: www.ecocamp.travel)

4.2 Os Domos da Amazon (USA)

Outro exemplo está sendo construído em Seattle (USA) pelo escritório americano da NBBJ para a maior varejista online do mundo, a Amazon. O projeto abrange a criação do novo espaço corporativo desta empresa com cerca de 1 milhão de metros quadrados em três blocos da cidade, incluindo três torres de escritórios com 38 andares, dois edifícios de escritórios de altura média e um complexo de 3 domos conectados como centro de reuniões numa espécie de praça pública ao nível do solo, bem útil para aproveitar a área pública até mesmo em dias de chuva. Dentro das estruturas haverá inclusive diversas espécies de plantas, fazendo com que funcionem também como uma biosfera. (figura 7)

Para refletir uma cultura focada na comunidade da Amazon, o projeto procura construir um bairro em vez de um campus, onde os princípios de design urbano desempenham um papel de destaque no projeto, com ênfase dada às atividades ao nível do plano que incluem um parque público para cães, pista de ciclismo nos 2 sentidos na 7th Avenue com entradas separadas para trabalhadores ciclistas e a própria loja que também será no térreo criando um bairro de uso misto em uma área urbana dominada por estacionamentos de superfície. O objetivo da NBBJ é trabalhar em estreita colaboração com a Amazon e a cidade de Seattle para criar uma comunidade de edifícios e espaços públicos que se traduzam em um ambiente urbano adequado para os empregados da Amazon, seus vizinhos e os cidadãos de Seattle. O que se pode observar neste projeto é que inserir configurações como os domos criam uma alternativa de construção urbana espacial mais sustentável, que resgata o contato com o plano e também com a natureza.



Fig.7 Projeto da NBBJ para Amazon (Fonte: www.nbbj.com/work/amazon)

5 CONCLUSÃO

Estabelecer esta relação entre as geodésicas e a Biomimética se mostra relevante, pois como já foi visto, tanto um assunto quanto o outro contribuem através de seus fundamentos para gerar alternativas eficientes dentro do contexto de construções sustentáveis. Por isto é importante tornar estas estruturas e suas vantagens construtivas mais conhecidas, resgatando também a filosofia biomimética de Fuller tão coerente com 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. Como no exemplo da Amazon descrito acima, novos modelos de geodésicas têm se beneficiado de novas tecnologias para reconfigurarem os seus designs e melhorarem as suas características construtivas.

Na era da informação digital, existem muitos sites, blogs e até mesmo vídeos de pessoas/empresas de diferentes lugares do globo compartilhando seu conhecimento 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 mais 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 desta prática, em mais expectativa e qualidade de vida para a humanidade.

6 REFERÊNCIAS

Arruda, A. J. V. (2002) **Bionic Basic: Verso un Nuovo Modello di Ricerca Progettuale**, 175 p., Tese (PhD in Disegno Industriale) – Politecnico di Milano, Milão, IT.

Benyus, J. M. (2012) **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**, 6. Ed., Ed. Pensamento-Cultrix, São Paulo.

Vinci, L. D. (2004) **Da Vinci por Ele Mesmo**, Madras, São Paulo.

Forlani, M.C. (1983) **Materiali Strutture Forme**, Alinea, Firenze.

Fuller, R. B. (1981) **Critical Path**, St. Martin's Press, New York.

Fuller, R. B. (1968). **Operation Manual for Spaceship Earth**, Feffer & Simons, New York.

Fuller, R. B.; Applewhite, E.J. (1975) **Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking**, Macmilan, New York.

Fuller, R. B. (1969) **Utopia or Oblivion: the Prospects for Humanity**, Bentam Books, New York.

Gorman, J. M. (2005) **Buckminster Fuller: Designing for Mobility**, Skira Editore S.p.A, Milano.

Haeckel, E. (2005) **Art Forms from the Ocean**, Prestel, New York.

Lotufo, V. A.; Lopes, J. M. A. (1981) **Geodésicas & Cia**, 1ª ed., Projeto Editores Associados Ltda, São Paulo.

Matini, M. R.; Knippers, J. (2008) **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, New Forest, UK.

Pearce, P. (1980). **Structure in Nature is a Strategy for Design**, The MIT Press, Massachusetts.

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.

Wahl, D. C. (2006) **Bionics vs. Biomimicry: from Control of Nature to Sustainable Participation in Nature**. WIT Transactions on Ecology and the Environment, New Forest.