SILVIA LENYRA MEIRELLES CAMPOS TITOTTO

Morfogênese de ramificações

de padrões de crescimento de redes vasculares a estruturas biomiméticas

[Branching morphogenesis]

[from growth patterns of vascular networks to biomimicry structures]

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e ao Departamento de Engenharia de Estruturas, Construção e Geotécnica do Politecnico di Torino para obtenção do título de Doutor por ambas instituições, conforme acordo de Co-tutela de Tese com Dupla Titulação. Áreas de concentração: Design e Arquitetura (FAUUSP) e Inovação Tecnológica para o Ambiente Construído (POLITO).

[Doctoral thesis presented to the School of Architecture and Urban Planning of University of São Paulo and to the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering of Politecnico di Torino to obtain the title of Ph.D. by both institutions, according to Co-directed Thesis agreement with Double Degree.]
[Training areas: Design and Architecture (FAU) and Technological Innovation for the Built Environment (POLITO).]

Orientadora [Home Advisor] **Prof.^a. Dr.^a. Clíce de Toledo Sanjar Mazzilli**

Orientador de co-tutela [Host advisor] **Prof. Dr. Carlo Luigi Ostorero**

São Paulo/Torino
2013

Ficha catalográfica [Cataloguing data]

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

[I AUTHORIZE THE TOTAL OR PARTIAL REPRODUCTION AND THE RELEASE OF THIS WORK, BY CONVENTIONAL OR ANY MEANS ELECTRONIC, FOR THE PURPOSE OF STUDY AND RESEARCH SINCE CITED THE SOURCE].

e-mail: titotto@gmail.com

T621m Titotto, Silvia Lenyra Meirelles Campos
Morfogênese de ramificações : de padrões de crescimento de redes vasculares a estruturas biomiméticas = Branching morphogenesis : from growth patterns of vascular networks to biomimicry structures / Silvia Lenyra Meirelles Campos Titotto. – São Paulo, 2013.
210 p: il.

Tese (Doutorado - Áreas de Concentração: Design e Arquitetura – FAUUSP e Innovazione Tecnologica per L'Ambiente Costruito – Politecnico di Torino).

Orientadora: Clíce de Toledo Sanjar Mazzilli

Co-tutela: Carlo Luigi Ostorero

1.Instalação (Artes plásticas) 2.Arquitetura experimental
3.Morfogênese 4.Biomecânica 5.Mimetismo 6.Percepção espacial
7.Interação homem-máquina 8.Interdisciplinaridade I.Título

CDU 7

Dedicatória [Inscription]

Para os incubadores de sonhos que celebram suas próprias trajetórias de vida ao criar propósitos brilhantes e colaborar em ideais compartilhados.

For dream incubators who celebrate their own life paths while creating bright purposes and collaborating on shared ideals.

Epígrafe [Epigraph]

"Quando estou trabalhando em um problema, nunca penso em beleza. Penso apenas em como resolver o problema. Mas quando termino, se a solução não é bonita, sei que está errada."
(Richard Buckminster Fuller *apud* DARLING, 2004:34)

"When I'm working on a problem, I never think about beauty. I think only how to solve the problem. But when I have finished, if the solution is not beautiful, I know it is wrong."
(Richard Buckminster Fuller *apud* DARLING, 2004:34)

Agradecimentos [Acknowledgments]

Este trabalho teórico e experimental reconhece o investimento nesta pesquisa por parte da Universidade de São Paulo, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo e da CAPES no Brasil tanto quanto do Politecnico di Torino, da EDANA e da EUBrazil EMECW StartUP na União Europeia.

Agradeço imensamente o apoio de ambos meus orientadores Clíce de Toledo Sanjar Mazzilli (Universidade de São Paulo) e Carlo Luigi Ostorero (Politecnico di Torino) e dos funcionários de ambas as universidades.

Sou especialmente grata a Tayse Lima Boletini, Tetê Titotto, Richard McIntosh, Irene Molnar, Stella Titotto, Hedesson Barreto Leite Neto, Lucas Blattner Martinho, David Julio da Costa, Victor Tayra, Bruno Chaves, Isabela Ferrante, Angelo Teixeira Reis, Raïssa Zortea, Douglas Melo, Sabrina Strassburger e Humberto Stein Shiromoto.

Pensando nessas pessoas que dedico este trabalho.

Honro também os pesquisadores precursores que fundamentam meus caminhos acadêmicos. Todo esforço tem sido realizado para localizar e contatar os detentores de direitos intelectuais e autorais e peço desculpas por quaisquer erros ou omissões. Se notificada, procederei para corrigi-los na primeira oportunidade.

This theoretical and experimental work acknowledges the investment in this research from: University of Sao Paulo, Pro-Rectorly of Pos-Graduation of University of São Paulo and CAPES in Brazil as well as Politecnico di Torino, EDANA and EUBrazil EMECW StartUp in the European Union.

I greatly appreciate the support of both my advisors Clíce de Toledo Sanjar Mazzilli (USP) and Luigi Carlo Ostorero (Politecnico di Torino) besides the employees of both universities.

I am especially grateful to Tayse Lima Boletini, Tetê Titotto, Richard McIntosh, Irene Molnar, Stella Titotto, Hedesson Barreto Leite Neto, Lucas Blattner Martinho, David Julio da Costa, Victor Tayra, Bruno Chaves, Isabela Ferrante, Angelo Teixeira Reis, Raïssa Zortea, Douglas Melo, Sabrina Strassburger and Humberto Stein Shiromoto.

I was thinking of these people when I dedicated this work.

I also honor the pioneer researchers who underlie my academic paths. Every effort has been made to trace and contact copyright holders and I apologize for any errors or omissions. If notified, I will undertake to rectify these at the earliest opportunity.

Resumo [Abstract]

Esta investigação tece relações comparativas entre padrões de crescimento de redes vasculares e argumenta que no conceito de morfogênese, analogamente à biologia, há evoluções e agrupamentos gerativos em sistemas estruturais ramificados. Para a compreensão deste agrupamento gerativo, são utilizados conceitos adjacentes à geometria fractal – estudo de estruturas rugosas, porosas ou fragmentadas, que mantêm sua irregularidade em grau similar para todas as escalas. Embora os fractais sejam mais conhecidos como objetos resultantes de algoritmos matemáticos em iterações sucessivas no campo das ciências computacionais, nesta pesquisa as estruturas naturais que se aproximam de modelos de geometria fractal irregular, isto é, classificadas como fractais estatísticos, e que são encontradas em vários sistemas orgânicos e minerais, têm predominância. Pesquisam-se e coletam-se *in loco* imagens de padrões ramificados para início de produção de trabalhos práticos. Elas são em sua maioria fotografias de seres biológicos naturais com algum grau de ramificação, mas incluem-se também estruturas estatisticamente fractais análogas a sistemas biológicos. Esses estudos de casos de ramificações são então categorizados de acordo com padrões superficiais, colorações, estruturação corporal, funcionalidade no sistema em que atuam e interação com os demais sistemas ou seres vivos presentes num dado ecossistema. A partir de seleção de alguns organismos de acordo com sua estrutura corporal e seus movimentos característicos, são produzidas arte-instalações onde estruturas biomiméticas híbridas são criadas para responder cinética e sensorialmente a estímulos humanos, ambientais e climáticos.

This survey weaves comparative relationships among growth patterns of vascular networks and argues that, in the concept of morphogenesis, in analogy to biology, there are generative clustering and evolutions in branched structural systems. To understand this generative clustering, adjacent concepts to fractal geometry are used - the study of rough, porous or fragmented structures that keep their irregularity to a similar degree at all scales. Although fractals are better known as resulting objects of mathematical algorithms in successive iterations in the field of computer science, in this research the natural structures that approximate to models of irregular fractals, i.e., classified as statistical, and that are found in various minerals and organic systems are predominant. Images of branched patterns are researched and collected *in loco* for a first production of practical work. They are mostly photographs of natural biological beings with some branching level, but they also include statistical fractal structures analogous to biological systems. These branching study cases are then categorized according to surface patterns, colors, body structure, functionality in the system in which they operate and interaction with other systems or living organisms present in a given ecosystem. From the selection of a few organisms according to their characteristic movements and body structure, installation artworks are experimentally designed where hybrid biomimetic structures are created to sensory and kinetically respond to human, environmental and climate stimuli.

[Riassunto] [Abstrait] [Abstrakt]

La ricerca presenta le relazioni tra i modelli comparativi di crescita delle reti vascolari, e fa riferimento al concetto di morfogenesi che, per analogia alla biologia, presenta un gruppo di evoluzione generativa in sistemi strutturali ramificati. Per capire questo generatore, si utilizzano concetti simili della geometria frattale - lo studio di strutture grossolane, porose o frammentate, dato che mantengono gli stessi livelli a tutte le scale. Anche se i frattali sono meglio conosciuti, in campo informatico, come il risultato di algoritmi matematici di successive iterazioni, nella presente ricerca hanno prevalenza nella forma di strutture naturali di geometria frattale irregolare, classificate come statistiche, che si trovano nei sistemi organici e minerali. Nella fase pratica del lavoro, abbiamo cercato e raccolto in loco le immagini di motivi ramificati, soprattutto essere viventi naturali, ma anche comprese le strutture frattali simili a sistemi biologici. Le conseguenze di questa categorizzazione vengono eseguite a seconda del modello di superficie, colore, struttura corporea, la funzionalità del sistema in cui operano e interagiscono con altri sistemi o organismi viventi in un ecosistema. Abbiamo sperimentalmente prodotto installazioni artistiche mutanti con le strutture biomimetiche che poi sono state progettate per rispondere sensoriali e cineticamente a stimoli umani, ambientali e climatici.

Cette recherche crée des relations comparatives entre les modèles de croissance des réseaux vasculaires et discute, dans le concept de la morphogenèse et par analogie à la biologie qu'il y a une évolution et un groupement génératif dans les systèmes structurels ramifiés. Pour comprendre ce groupe générateur, on utilise des concepts adjacents à la géométrie fractale - l'étude des structures rugueuses, poreuses ou fragmentées, à condition que en degré similaire pour toutes les échelles. Bien que les fractales soient plus connues comme des objets qui résultent des algorithmes mathématiques après des itérations successives dans le champ des sciences informatiques. Dans cette recherche, des structures naturelles avec une géométrie fractale classée comme statistique, celles qui sont trouvées dans plusieurs systèmes organiques et minéraux, ont prédominance. Pour la production de travaux pratiques, on recherché et recueilli in loco des images des motifs ramifiés, essentiellement êtres vivants, mais aussi notamment de les structures fractales analogues aux systèmes biologiques. Les catégorisations de cette ramifications sont effectuées selon les modèles superficiels, les couleurs, la structure du corps, la fonctionnalité du système dans lequel ils opèrent et interagissent avec d'autres systèmes ou d'organismes vivants présents dans un écosystème donné. On produi expérimentalement des installations d'art mutantes dont les structures biomimétiques sont créées pour répondre sensoriel et cinétiquement aux stimuli humaines, environnementaux et climatiques.

Diese Umfrage untersucht die Beziehung zwischen den Wachstumsmustern der Gefäßnetze und macht geltend, dass es in dem Konzept der Morphogenese, in Analogie zur Biologie, generative Gruppierungen und Entwicklungen in den verzweigten Gefäßsystemen gibt. Um diese generative Gruppierungen zu verstehen, werden verwandte Konzepte aus der fraktalen Geometrie verwendet - die Studien der rauen, porösen oder fragmentierten Strukturen, da sie den gleichen Grad auf allen Ebenen zu halten. Obwohl Fraktale besser als resultierende Objekte aus mathematischen Algorithmen in aufeinanderfolgenden Iterationen auf dem Gebiet der Informatik bekannt sind, ist in dieser Untersuchung die fraktale Geometrie der als statistisch klassifizierten natürlichen unregelmässigen Strukturen die in verschiedenen Mineralen und organischen Systemen zu finden sind vorherrschend. Zur Unterstützung der praktischen werden Bilder von verzweigten Strukturen erforscht und in loco gesammelt. Sie sind meist Fotografien von natürlichen biologischen Wesen, aber zum Teil auch statistische fraktale Strukturen analog zu biologischen Systemen. Mittels der Kategorisierung dieser Verzweigungen nach Oberflächenmustern, Farben, Körperstrukturen, Funktionalität innerhalb des Systems in dem sie operieren und Interaktion mit anderen Systemen oder lebenden Organismen in einem gegebenen Ökosystem werden mutierte Organismen produziert, deren biometrische Strukturen zur sensorischen und kinetischen Reaktion auf Menschen, Umwelt und Klimabedingungen erstellt wurden.

Vetores de raciocínio [Reasoning vectors]

O **capítulo 1** introduz o tema. Início por desvelar as motivações para esta pesquisa que se desenvolve no abrir de sulcos na fronteira entre a subjetividade por meio de experimentos poéticos com depoimentos interpretativos sensíveis e a objetividade inerente à fundamentação teórica a partir de pesquisas científico-tecnológicas.

Exponho em seguida os questionamentos pertinentes ao formato final da pesquisa, que delinearam seu fio condutor atual e cujas discussões aprofundadas possam validar uma colaboração inédita ao oceano do conhecimento.

Mencionar um formato final implica que houve substanciais alterações no projeto ao longo do caminho, e, portanto, devo uma breve discussão dos motivos, tais como limitações práticas ou resultados preliminares divergentes que me levaram a abandonar alguns conceitos, consequentemente optando por desenvolver outros experimentos ou adaptar aqueles inicialmente propostos.

Analogamente a um projeto de pesquisa, que possivelmente tem algumas regras básicas para seu desenvolvimento satisfatório, e que por vezes sofre alterações em razão de tantos fatores externos que devem ser tangíveis, na morfogênese, isto é, no nascimento e desenvolvimento da forma, alguns algoritmos recursivos também podem ser considerados a base do projeto. Porém este também sofre alterações quando o ser ou a estrutura biológica precisa dar conta de uma infinidade de metas e obstáculos inerentes à natureza, tais como luz, temperatura, alimento disponível, trauma por conquista de espaço ambiental e assim por diante.

Daí os objetivos primários se esclarecem diante da névoa de possibilidades infinitas dentro da pesquisa e este subcapítulo destaca os pontos principais que almejei alcançar.

E finalmente o capítulo encerra abordando os meios para verificação constante do escopo teórico proposto para a pesquisa e as receitas utilizadas na obtenção dos resultados experimentais.

Chapter 1 introduces the subject. I start unveiling the motivations for this research that is developed via the opening of furrows in the border area between the subjectivity through poetic experiments with interpretive testimonies of sensitive nature and the objectivity inherent to theoretical foundation from sci-tech research.

Then I expose the pertinent questions to the final format of the survey, which outlined its current conduction thread and whose depth discussions can validate an unprecedented collaboration to the ocean of knowledge.

Mentioning one final format implies that there were substantial changes along the way, and therefore I owe a brief discussion of the reasons, such as practical limitations or differing preliminary results that led me to abandon some concepts, hence opting to develop other experiments or adapted from experiments proposed at the beginning of the research.

Analogously to a research project that is meant to have a few basic rules for satisfactory development, and sometimes undergoes changes due to many external factors that must be tangible, in morphogenesis, i.e. in the birth and development of shape, some recursive algorithms can also be considered to be part of the blueprint. But this also changes when the being or biological structure needs to account for a multitude of targets and obstacles inherent to nature, such as light, temperature, food availability, trauma during conquest of environmental space and so on.

Hence, the primary objectives are clarified before the mist of infinite possibilities within the research and this sub-chapter highlights the main outcomes that I aimed to achieve.

And finally the chapter ends up by addressing the means used to constant verification of theoretical scope for the proposed research and the recipes used in order to obtain the experimental results.

O **capítulo 2** trata das complexidades caóticas e da imprevisibilidade determinística: desde as relações entre os ritmos da natureza e as periodicidades matemáticas, em seguida, passando por padrões de ramificação e geração de formas auto-selhantes e chegando a uma breve discussão do por que os fractais possivelmente se enquadram nesta categoria conceitual.

O **capítulo 3** menciona alguns casos de ramificações na biologia e na geologia e como sua morfogênese pode se relacionar com o projeto e a construção prototípica de modelos experimentais.

O **capítulo 4** apresenta minhas incursões aos mundos físico e biológico natural, fotografando experimentalmente exemplos que se enquadram nas categorias estudadas na fundamentação teórica e classificações que criei para estudar casos de ramificações e como estas categorias inter e intra relacionam-se quanto à sua função em dada estrutura; quanto à localização no corpo biológico; quanto à limitação cinética; e quanto à proximidade de cor: Vermelho [vasos sanguíneos, alvéolos pulmonares e corais], Translúcido [xilema e floema botânicos, mecânica da água, fluidos sob pressão], Prata [sinapse neural, descargas elétricas e eletrodeposição metálica], Cinza [colônias de bactérias, dendritos rochosos], Verde [folhas, algas], Ocre [conchas, frutos, sulcos e percursos], Magenta [flores e frutos], Marrom [asas e frutos].

O **capítulo 5** apresenta a produção e o emprego das estruturas ramificadas em arte, arquitetura e design; e como a compreensão das motivações destes outros profissionais se relaciona com a minha produção experimental de arte-instalações. O capítulo ainda discute brevemente de que modo conhecer o tectonismo inerente à sua produção foi imprescindível para o desenvolvimento dos meus próprios trabalhos experimentais.

O **capítulo 6** demonstra a concepção e execução de experimentos poéticos preliminares, dentre eles modelos hiperbólicos de estruturas ramificadas em papel e crochê; experimentos químicos; experimentos luminosos; experimentos mecânicos; experimentos cinéticos; experimentos com sensores;

Chapter 2 deals with the chaotic complexities and deterministic unpredictability: from relationships between the rhythms of nature and mathematical periodicities, followed by branching patterns and self-similar shape generation and coming to a brief discussion why the fractals are likely to fit this conceptual category.

Chapter 3 mentions a few cases of branching in biology and geology and how morphogenesis can relate to the design and prototype construction of experimental models.

Chapter 4 presents my forays into the physical and natural biological world, experimentally photographing examples that fall into the categories studied in theoretical foundation and classifications created to study cases of ramifications and how these categories are inter and intra related concerning their function in a given structure; regarding the location on the biological body; the level of kinetic limitation; and their color proximity: Red [blood vessels and corals], Translucent [xylem phloem and botanical ramifications of fluids under pressure and pulmonary alveoli], Silver [neural synapse, electrical and metal electroplating], Grey [bacterial colonies, dendrites rocky], Green [leaves, algae], Yellow [shells], Magenta [flowers and fruit].

Chapter 5 presents the production and use of branched structures in art, architecture and design, and how an understanding of the motivations of these other professionals relates to my experimental production of installation artwork. The chapter also briefly discusses how getting to know the inherent tectonics in their production was essential for the development of my own experimental work.

Chapter 6 demonstrates the design and implementation of preliminary poetic experiments, including models of hyperbolic branched structures on paper and crochet; chemical experiments; lightning experiments, early mechanical experiments, kinetic experiments; experiments with phase sensors; culminating in an installation art project

e culminando num projeto de arte-instalação de maior complexidade, que se baseia nos resultados dos testes anteriormente listados.

O **capítulo 7** trata da inovação tecnológica estrutural e as possíveis influências das ramificações em conceitos e práticas estruturais recentes ou ainda por vir. Este capítulo aborda ainda conceitos de concepção estrutural baseados na observação de como a natureza consegue dar conta de seus desafios.

O **capítulo 8** traz algumas considerações finais e busca resumir o que a pesquisa conseguiu avançar no processo de respostas às indagações exploratórias.

Em seguida trago uma extensa **bibliografia** dividida em seis seções que foram subdivididas em áreas afins:

1. **Processos biológicos de ramificação**, que englobam alguns dos processos de crescimento das estruturas naturais;
2. **Procedimentos de análise de estruturas ramificadas**, que abarcam o conjunto de métodos matemáticos para análise desses padrões gerados naturalmente que podem ser entendidos como tentativas de compreensão dos dados reais por meio de aproximações matemáticas;
3. **Tridimensionalidade em projetos experimentais**;
4. **Transição entre o real e o visionário**: projetos e protótipos usando ramificações artificialmente vivas. Esta seção marca a introdução de conceitos cunhados nas últimas décadas ou nos meses recentes que colaboram na ponte entre a natureza e o ambiente em construção ou a ser construído;
5. **Artistas/arquitetos/designers** (estado-da-arte); e
6. **Material multimídia de apoio**.

Um pequeno **glossário** está incorporado após a bibliografia para facilitar a compreensão de termos técnicos usualmente presentes na literatura do assunto abordado.

Meus depoimentos sobre os insights que levaram aos projetos experimentais permeiam todo o texto, assinalados com as iniciais S.T. e procuram elucidar os labirintos dos processos de criação.

of greater complexity based on the test results listed above.

Chapter 7 deals with technological structural innovation and the likely influences of branching in recent or incoming structural concepts and praxis. This chapter also discusses the structural design concepts based on the observation of how nature can cope with its challenges.

Chapter 8 provides some concluding remarks and seeks to summarize the research that could advance in the process of answering the exploratory inquiries.

Then I bring an extensive **bibliography** divided into six sections which were subdivided into related areas:

1. **Biological branching processes** that group some of the growing processes of the natural structures;
2. **Procedures of branching structures analysis**, that enclose the group of math methods used so that the pattern generated naturally might be analyzed and they might be understood a trial of understanding of real data through mathematical approximations;
3. **Tridimensionality in experimental projects**;
4. **Transition between the real and the visionary**: projects and prototypes using artificially live branches that bring together introductions to concepts defined in the last decades or months that might help bridging the gap between nature and built environment under construction or those projects towards the future;
5. **Artists/architects/designers** (state-of-the-art); and
6. **Supporting multimedia material**.

A small **glossary** is incorporated after the bibliography in order to help understanding some technical terms commonly found in the literature of the subject.

My testimonies about the insights that led to experiments permeate throughout the text, marked with the initials S.T. and seek to elucidate the labyrinths of creation processes.

Sumário [Contents]

Vetores de raciocínio [Reasoning vectors]	xi
Capítulo [Chapter] 1.....	1
<i>Recorte do objeto de estudo [Study framework]</i>	<i>2</i>
<i>Motivação inicial [Beginning of it all].....</i>	<i>4</i>
<i>Indagações exploratórias [Exploratory questions].....</i>	<i>5</i>
<i>Alterações em percursos não tão biônicos assim [Changes in “not that bionic” paths].....</i>	<i>6</i>
<i>Quais os pontos que se espera alcançar [Where to reach]</i>	<i>9</i>
<i>Métodos para realizar [How to get things done].....</i>	<i>10</i>
<i>Resumo da fundamentação teórica [Sum up of the theoretical foundation]</i>	<i>13</i>
Capítulo [Chapter] 2.....	21
<i>Relações entre biologia e matemática em geração de estruturas com padrões ramificados [Relationships between biology and math in generation of branching pattern structures].....</i>	<i>22</i>
<i>Relações entre [Relationships between]: Ritmos e periodicidades fractais, Padronagens de ramificação e Geração de formas auto-semelhantes [Rhythms and fractal periodicities, branching patterns and generated self-similar shapes]... </i>	<i>25</i>
Capítulo [Chapter] 3.....	31
<i>Panorama geral dos sistemas ramificados [Overview of the branching systems]</i>	<i>32</i>
<i>Ramificações nas plantas e fungos [Branchings in plants and funghi].....</i>	<i>34</i>
<i>Ramificações no sistema respiratório [Branchings in the respiratory system]</i>	<i>35</i>
<i>Ramificações no sistema circulatório [Branchings in the circulatory system].....</i>	<i>37</i>
<i>Ramificações nas estruturas dos neurônios [Branchings in the neurons structure].....</i>	<i>41</i>
<i>Rede ramificada na retina humana [Branched network in the human retina]</i>	<i>44</i>
<i>Ramificações em dendritos minerais [Branching in mineral dendrites].....</i>	<i>45</i>
<i>Morfogênese como processo [Morphogenesis as process]</i>	<i>48</i>
Capítulo [Chapter] 4.....	51
<i>Translúcido (xilema e floema botânicos, mecânica da água, fluidos sob pressão) [Translucent (botanical xylem and phloem, mechanics of water, fluids under pressure)]</i>	<i>52</i>
<i>Prata (sinapse neural, descargas elétricas e eletrodeposição metálica) [Silver (neural synapse, electrical and metal electroplating)].....</i>	<i>60</i>

<i>Magenta (flores e frutos) Magenta [(flowers and fruit)]</i>	61
<i>Marrom (asas e frutos) [Brown (wings and fruit)]</i>	67
<i>Cinza (colônias de bactérias, dendritos rochosos) [Gray (bacterial colonies, rocky dendrites)]</i>	71
<i>Verde (folhas, algas) [Green (leaves, algae)]</i>	81
<i>Ocre (conchas, frutos, sulcos e percursos) [Ochre (shells, fruits, grooves and tracks)]</i>	94
<i>Organismos cuja estrutura auxilia seu movimento na água [Organisms whose structure aid their movement in water]</i>	101
<i>Proto-soluções biomiméticas [Proto biomimicry solutions]</i>	109
<i>Padrões não-ramificados [Non-branching patterns]</i>	117
Capítulo [Chapter] 5	120
<i>Agano Machiko</i>	123
<i>Arne Quinze</i>	124
<i>Ecologic Studio</i>	125
<i>Mia Pearlman</i>	127
<i>Philip Beesley</i>	128
<i>Tomas Saraceno</i>	130
<i>Margaret Wertheim</i>	132
<i>Carlo Ratti</i>	133
<i>Thomas Heatherwick</i>	134
<i>Silvia Titotto</i>	136
<i>Teia de aranha [Cobweb]</i>	140
<i>Tessitura vernacular de rede de pesca [Vernacular fishing net]</i>	141
<i>Mesquita em Istambul [Mosque in Istanbul]</i>	142
<i>Cúpula turca pintada com mandala [Turkish dome painted with mandala]</i>	143
Capítulo [Chapter] 6	145
<i>Experimentos visuais em células botânicas [Visual experiments in botanical cells]</i>	146
<i>Execução de modelos hiperbólicos em crochet [Knitting of hiperbolic geometry]</i>	152
<i>Instalação indumentária em papel [Clothing installation in paper]</i>	153
<i>Experimento de estrutura destilada [Experiment of distilled structure]</i>	154
<i>Experimento: Célula de Hele-Shaw [Experiment: Hele-Shaw cell]</i>	156
<i>Experimentos com ondas químicas na reação BZ [Experiments of chemical waves in the BZ reaction]</i>	157

<i>Experimento com reações com soda cáustica [Experiments of reactions with caustic soda]</i>	158
<i>Experimentos de mutação por coloração [Color mutation experiments]</i>	159
<i>Experimentos com faixas de Liesegang [Liesegang bands experiments]</i>	161
<i>Experimentos cinéticos [Kinetic experiments]</i>	162
<i>Primeiros devaneios sobre transgênese [First daydreams about transgenesis]</i>	166
<i>Desenhos técnicos das peças cinéticas [Technical drawings of kinetic parts]</i>	167
<i>Base para experimento estético-sensorial em escala humana [Foundation for aesthetic-sensory experimente in human scale]</i>	169
<i>Experimentos com sensores e placas arduino [Experiments with sensors and Arduins]</i>	174
<i>Experimentos cinéticos: lacraia e desnaturação da proteína [Kinetic experiments: centipede and protein denaturation]</i>	176
<i>Trabalho apresentado em Lucca: “Floating Transgenesis (FT)” [Artwork presented in Lucca: “Floating Transgenesis (FT)”]</i> ..	180
<i>Materiais & Métodos [Materials & Methods]</i>	189
Capítulo [Chapter] 7	196
<i>Inovação tecnológica contextualizada [Technological innovation in context]</i>	197
Capítulo [Chapter] 8	201
<i>Considerações finais e o olhar adiante [Final thoughts and looking forward]</i>	202
Bibliografia [Bibliography]	i
<i>Processos biológicos de ramificação [Biological branching processes]</i>	ii
<i>Procedimentos de análise de estruturas ramificadas [Procedures of branching structures analysis]</i>	vi
<i>Tridimensionalidade em projetos experimentais [Tridimensionality in experimental projects]</i>	x
<i>Transição entre o real e o visionário: projetos e protótipos usando ramificações artificialmente vivas [Transition between the real and the visionary: projects and prototypes using artificially live branches]</i>	xii
<i>Fontes sobre artistas/arquitetos na seção: estado-da-arte [Sources about artists and architects in the state-of-the-art section]</i>	xviii
<i>Material multimídia [Multimedia material]</i>	xx
<i>Epígrafes [Epigraphs]</i>	xxii
Glossário [Glossary]	a
<i>Definição dos termos básicos [Definition of basic words]</i>	b

CAPÍTULO [CHAPTER] 1

Recorte do objeto de estudo [Study framework]

Trata-se de uma investigação sobre biomimética em que o processo artístico é um dos meios, juntamente com o teórico, de atingir o objetivo do estudo – cuja hipótese inicial era investigar a validade do entendimento da morfogênese como evolução e agrupamento gerativos na cadeia: fio, teia, casulo, trama sintética e materiais inteligentes. O recorte da pesquisa se delineia nos modelos fractais estatísticos do sistema circulatório das plantas e de alguns aparelhos do corpo humano.

O design e a arquitetura aparecem na ilustração de possíveis aplicações da pesquisa, enquanto a arte aqui é utilizada como processo de investigação. Em termos de posição de fundamento metodológico, a biomimética é o “como” da pesquisa, isto é, o meio para atingir a imersão problematizada na arte fractal tridimensional com questões sensoriais.

Esta pesquisa não é uma tentativa de especificar o que é minimizado, mas de ver como os padrões se formam em diferentes critérios, sejam eles: comprimento total da rede, a dissipação de energia, ou volume total da estrutura, pois já se sabe que escolhas diferentes de critérios levam a estruturas diferentes, porém todas elas mais ou menos parecidas.

Abordam-se os trabalhos artísticos a serem realizados como ambientes imersivos e interativos concebidos por meio da biomimética aplicada à espacialidade. O conceito de biônica tem origem na filosofia biotecnológica, relacionando-se com estruturas e processos nos fenômenos biológicos e estendendo ao ser humano aplicações relativas a desenvolvimento, aperfeiçoamento e humanização dos ambientes tecnológicos.

Aplica-se o conceito de processo de modelagem das estruturas biológicas (células, tecidos, órgãos, sistemas, organismos) tradicionalmente ao termo morfogênese. Porém, para uma melhor compreensão do que este trabalho considera como morfogênese, procura-se organizar e discutir as relações morfológicas em três esferas. São elas:

This is a biomimicry research where the artistic process is one of the means, along with theory, to achieve the objective of the study – whose initial hypothesis was investigating the validation of the understanding of morphogenesis as evolution and generative cluster in the chain: thread, web, cocoon, synthetic fabric and smart materials. The study is outlined in statistical fractal models of the circulatory system of plants and some units in the human body.

The design and architecture appear in the illustration of possible applications of the research, while the art is used here as the research process. In terms of position of methodological grounds, biomimicry is the "how" of research, i.e., the means to achieve immersion in the art fractal tridimensional problematic with sensory issues.

This research is not a trial to specify what gets minimized, but simply to see what the patterns look like for different criteria, whether they are: total network length, energy dissipation, or whole structure volume. It is known that different choices lead to markedly different structures, but all of them look more or less familiar.

It addresses the artworks to be made as immersive and interactive environments generated by biomimicry applied to spatiality. The concept of bionics has its origin in the biomimicry philosophy, relating to structures and processes in biological phenomena extending applications relating to human development, improvement and humanization of technology environments.

The term morphogenesis is applied to the concept of traditional process modeling of biological structures (cells, tissues, organs, systems, organisms). However, for a better understanding of what this work considers morphogenesis, it is sought to organize and discuss morphological relationships in three areas. They are:

As estruturas presentes na natureza, aquelas bionicamente produzidas para a indústria pelos desenvolvimentos têxteis (MCQUAID, 2005) – de grande interesse para o Design – e aquelas concebidas por artistas, independentemente de função pré-estabelecida.

O maior desafio desta investigação é verificar as possibilidades para a construção de espaços imersivos reais (e não apenas aqueles virtuais) a partir dos fundamentos da biomimética interligados às estruturas naturais de ramificação não apenas esteticamente, mas também considerando os diversos níveis de sensorialidade que estes permitem.

Até o momento, alguns modelos dentre os mais simples foram realizados no espaço real por pesquisadores de todo o mundo, porém, em sua maioria, apresentam uma forma mais lúdica do que a de investigação prática nas fronteiras entre design do objeto, arquitetura, inovação tecnológica e arte-instalação.

O mérito da realização deste trabalho consiste na possibilidade de avanço científico transdisciplinar além das reflexões e discussões da passagem dos modelos matemáticos fractais no nível computacional para protótipos espacialmente penetráveis e exploráveis em escala humana.

A implementação simultânea dos conceitos relacionados à morfogênese que esta tese apresenta parece exigir uma abordagem nova na transposição da produção experimental, e este estudo não se dispõe a conseguir de fato transpor esta barreira, mas busca dar um passo além do reducionismo científico tradicional e re-mapear as fronteiras disciplinares de longa data.

The structures found in nature, those ones bionically produced to the industry by textile developments (MCQUAID, 2005) - of great interest to Design - and those designed by artists, regardless of the pre-established function.

The biggest challenge of this research is to examine the possibilities for building real immersive spaces (not just virtual ones) from the fundamentals of biomimicry interconnected to natural branching structures, not only aesthetically, but also considering the various sensoriality these levels permit.

So far few of the simpler models were performed in real space by researchers around the world, but most of them have a more playful aspect than the practical research at the boundaries between object design, architecture, technological innovation and installation art.

The merit of this work is the possibility of cross-disciplinary scientific advance beyond the reflections and discussions of the passage of the mathematical models of fractals in the computational level for spatially penetrable and exploitable prototypes in the human scale.

The simultaneous implementation of the morphogenesis related concepts presented in this thesis seem to require a new approach in the transposition of the experimental production, and this study is not expected to cross this barrier, but it seeks to give a step beyond traditional scientific reductionism and to re-map subjects long-standing boundaries.

Motivação inicial [Beginning of it all]

“Ramificação é um padrão matemático limpo e bonito, com uma intrínseca estrutura intelectualmente desafiadora que permeia os fenômenos que subjaz.”
(GONZALEZ, 2010: v)

Comecei suspeitando que a semelhança na forma entre as árvores e o sistema circulatório do sangue podia não ser coincidência. Ambas são redes vasculares, formadas a partir de tubos ocos que transportam fluidos. Veias e artérias são como tubos de largura variável e a madeira é como um feixe de tubos estreitos que se separa em ramos nos pontos de ramificação.

Especialmente os padrões venosos das folhas ou as passagens de pulmões sugerem que a combinação de crescimento algorítmico, ou seja, aplicação repetida de um conjunto de regras, juntamente com minimização, quer dizer, escolha das melhores ligações, pode conter as sementes de uma explicação para uma vasta gama de estruturas de rede.

Por que um doutorado sobre ramificação na área de ambiente construído, e por que agora? O assunto é de fundamental importância para a compreensão do desenvolvimento de novas formas e estruturas. Além de ser um componente necessário para a tecnologia emergente de engenharia de tecidos. O estudo das ramificações está mudando rapidamente e está se expandindo mediante novas ligações entre a biologia celular e modelagem matemática. Porém, o material de estudo que tem sido tradicionalmente divulgado em textos e periódicos das diversas disciplinas a que este tema se reporta nunca foi relacionado em outra pesquisa da forma com que desenvolvo nesta pesquisa no contexto da transdisciplinaridade.

O recente surgimento de princípios gerais da morfogênese de ramificação e a observação de que os sistemas aparentemente díspares parecem compartilhar profundas semelhanças biológicas (DAVIES, 2006: 2) são razões fortes e oportunas para considerá-los complementarmente juntos, apesar dos riscos inerentes a uma pesquisa cujo embasamento teórico leva muito mais tempo que o habitualmente esperado.

“Branching is a clean and beautiful mathematical pattern, with an intellectually challenging intrinsic structure, and it pervades the phenomena it underlies.” (GONZALEZ, 2010: v)

I started suspecting that the shape similarity between trees and the blood circulatory system might be no coincidence. Both are vascular networks: they are formed from hollow tubes that carry fluids. Veins and arteries are like pipes of varying width, while wood is like a bundle of narrow tubes that separates into bunches at branching points.

Especialmente os padrões venosos das folhas ou as passagens de pulmões sugerem que a combinação de crescimento algorítmico, ou seja, aplicação repetida de um conjunto de regras, juntamente com minimização, quer dizer, escolha das melhores ligações, pode conter as sementes de uma explicação para uma vasta gama de estruturas de rede.

Why a doctorate on branching in the area of built environment, and why now? The subject matter is of critical importance to understand the normal development of shapes and structures and it is a necessary component in the emerging technology of tissue engineering. The study of branches is changing quickly and it is expanding through new links between cell biology and mathematical modeling. However the study material that has been traditionally scattered through the texts and journals of many different disciplines to which this topic addresses has never been brought together in one place before the way I develop in this research in the context of the transdisciplinarity.

The recent emergence of general principles of branching morphogenesis, and the observation that disparate systems apparently share deep biological similarities (DAVIES, 2006: 2) are strong and timely reasons for considering them complementarily together, despite the risks inherent in a theoretical research that takes much longer than usually expected.

Indagações exploratórias [Exploratory questions]

É evidente que a simples iteração de um processo de ramificação que adequadamente representa o padrão de formas dendríticas minerais possa também parecer adequada para explicar os muitos padrões encontrados em seres vivos, tais como a ramificação venosa nas folhas ou a geometria fractal do parênquima hepático (IANNACCONE & KHOKHA, 1996). Porém, suspeito que o que alguém seja capaz de inferir a partir de estruturas altamente ramificadas tais como pulmões e traquéias é que estas estruturas são fruto de uma clara advertência das maneiras muitas vezes complexas e às vezes tortuosas adotadas pela natureza em produzir o que parece ser um padrão geométrico simples.

Diante da tessitura desta questão inicial, coloco-me as seguintes perguntas:

Quais seriam as relações espaciais percebidas entre os diversos tipos de estruturas ramificadas e qual a proximidade dos modelos matemáticos com o que acontece na natureza de fato?

Até que ponto os arquitetos e designers podem se valer destes conhecimentos acerca de geratividade computacional para projetar estruturas mais eficazes ou eficientes, desde o ponto de vista econômico até questões de autoria poética em suas concepções inovadoras, sem execução de protótipos físicos?

Com qual fidedignidade explorações em arte-instalação podem servir para colaborar no desenvolvimento de paradigmas estruturais de desenho construtivo?

Atualmente ainda se pode considerar como vida artificial aquelas formas que respondem a estímulos externos, porém que não se baseiam em cadeias de carbono?

Quais as potencialidades e limitações ao se aplicar uma ou mais características de alguns seres vivos à estrutura de outros, visando alguma vantagem no sistema como um todo?

It is clear that the simple iteration of a branching process which adequately represents the standard dendritic shaped minerals is also adequate to explain the many patterns found in living organisms, such as a leaf branch vein or fractal geometry hepatic parenchymal (IANNACCONE & KHOKHA, 1996). However, I suspect that what one can infer from highly branched structures such as lungs and trachea is that these structures are results of a clear reminder of the often complex and sometimes tortuous ways adopted by nature to produce what appears to be a pattern simple geometric.

Given the context of this initial question, I put myself the following questions:

What would be the perceived spatial relationships between different types of structures and branched structures which the proximity of mathematical models with what actually happens in nature?

To what extent architects and designers can take advantage of this knowledge about computer generativity to design more effective or efficient structures, since the economic point of view to the issues of authorship poetic in their innovative conceptions without the workmanship of physical prototypes?

With which level of trust can holdings in installation art serve to encourage the development of structural paradigms of building design?

Is it still currently possible to currently consider as artificial life forms those that respond to external stimuli but that are not based on carbon chains?

What are the strengths and limitations when one or more characteristics of living beings are applied to some other beings' structure, seeking some kind of advantage in the system as a whole?

Alterações em percursos não tão biônicos assim [Changes in “not that bionic” paths]

Diversas alterações ocorreram ao longo da pesquisa, mas a conceitualmente mais importante é que eu abandonei a busca por linearidade entre relações morfogenéticas nas estruturas ramificadas formadas por fios.

Esta linearidade me possibilitaria fazer as analogias com a produção têxtil, desde aquela que se dá a partir de fios biológicos até aquelas que se utilizam apenas de conceitos de estruturas naturais para a produção de fibras de alta tecnologia.

No início desta pesquisa, os fios estavam sendo abordados sobre aspectos científicos e poéticos, tomando-se como ponto de partida a teia de aranha, passando pela seda natural, a produção sintética e buscando alcançar os mais recentes investimentos na pesquisa sensorial (BRUNETTA & CRAIG, 2010).

O objetivo deste trabalho era conseguir compreender as relações entre formas existentes na natureza, a tecnologia e a arquitetura, analogamente ao âmbito da ocorrência entre os fios de uma teia de aranha e os tecidos sintéticos contemporâneos, utilizados para as mais variadas aplicações na indústria têxtil de alto desempenho (ADDINGTON & SCHODEK, 2005).

Entre estas passagens morfológicas, eu retomava conceitos históricos de ligação entre ciência e design, como por exemplo, as tentativas de chineses há mais de três mil anos a partir de técnicas rudimentares para tecer roupas com fios biológicos de teias de aranha; e de americanos e europeus no último século utilizando-se da biomimética para a criação de fio sintético de estrutura semelhante ao das aranhas (CRAIG, 2003).

Também buscava analisar as relações morfogenéticas dos fios das teias de aranha e dos tecidos que, além da função básica de cobrir e proteger funciona como uma extensão do corpo humano, proporcionando sensações novas ou melhorando desempenho de certa atividade proposta. Desta forma, estabelecia relações entre biônica e arquitetura, na observação de escala e espaço.

Several changes occurred throughout the research, but the most conceptually important is that I abandoned the search for linearity between morphogenetic relations within branching structures of threads.

This linearity would enable me to make analogies with textile production, since that one which occurs from the biological threads up to those that strictly use natural structures concepts for the production of high-tech fibers.

In the beginning of this research threads were being discussed in the scientific and poetic aspects, and its starting point was the spider's web, through natural silk, synthetic production and seeking to achieve the newer investments in sensory research (BRUNETTA & CRAIG, 2010).

The aim of this work was exploring the relationships between natural shapes, technology and architecture, analogously as it occurs between the strands of a spider web and contemporary synthetic fabrics, used for several applications in the textile industry of high performance (ADDINGTON & SCHODEK, 2005).

Among these morphological passages, I followed historical concepts of connection between science and design, such as attempts of the Chinese for over three thousand years from basic techniques to weave clothing with biological threads from real cobwebs; besides Americans and Europeans in last century for the use of biomimicry for the creation of a synthetic yarn of similar structure to spiders (CRAIG, 2003).

I also aimed to analyze morphogenetic relationships of cobwebs and fabric that beyond the basic function of covering and protecting function as an extension of the human body, providing new sensations or improving performance in a proposed activity. In this way, I established relationships between architecture and bionics, in the observation of scale and space.

Para estas análises matematicamente orgânicas, fez-se essencial me aprofundar em conceito e definição de termos advindos da teoria dos fractais no contexto de aplicação aos sistemas biológicos tais como: fractais clássicos e auto-similaridade (PEITGEN & SAUPE, 2011), comprimento, área e dimensão, imagens codificadas por transformações simples, jogo do caos, estruturas recursivas, ordem e caos, conjuntos de Julia e Mandelbrot, atratores estranhos, compressão de imagens por algoritmo fractal e medidas multifractais (SORNETTE, 2006).

Porém, ao longo da pesquisa percebi que uma considerável parte desses conceitos não era tão evidente nas estruturas naturais de ramificação, que são o objeto central deste estudo, então alterei a trajetória inicialmente planejada.

Por meio das experimentações, eu almejava modificar algumas características arquitetônicas encontradas tradicionalmente e induzir ao espaço da experimentação uma experiência de percepção de novas estruturas baseadas em sistemas biológicos de ramificação e texturas modulares fractais; verificando as relações binomiais entre fios das teias de aranha e aço; seda e tramas sintéticas; casulos e bolhas de sabão; tecidos e pele; sistema circulatório humano e seivas de plantas.

O meio prático para a realização desta investigação era a organização de dois grandes experimentos, que seriam materializados em instalações com visitação pública, nas quais os participantes teriam a possibilidade de interagir e explorar estruturas representativas das analogias entre natureza, tecnologia e arquitetura. Antecedendo esses dois experimentos principais, haveria a realização de testes em pop-ups de papel em que seria possível verificar algumas das possibilidades de exploração previstas para as exposições principais.

A primeira das instalações se basearia numa relação entre o sistema circulatório humano, folhas de plantas e teias de aranha. A segunda teria como contexto a afinidade entre o tato humano (uma espécie de 'extensão do corpo') e casulos do bicho-da-seda.

For those kinds of organic math analyses, it became essential to deepen in the concept and definition of terms arising from the theory of fractals in the context of application to biological systems such as classical and fractal self-similarity (PEITGEN & SAUPE, 2011), length, area and size, images encoded by simple transformations, game chaos, recursive structures, order and chaos, Julia and Mandelbrot sets, strange attractors, image compression by fractal algorithm and multi-fractal measures (SORNETTE, 2006).

However, during the research, I realized that a considerable part of these concepts were not as evident in the natural branching structures, which are the central object of this study, so I changed the trajectory initially planned.

Through experimentation I aimed to modify a few architectural features traditionally found and inducing to the experimentation space a perceptive experience of new structures based on biological branching systems and modular fractal textures; checking the relationship between binomial threads of spider webs and steel, silk and synthetic weaves, cocoons and bubbles, fabric and skin, the human circulatory system and plant sap.

The practical means to carry out this research was organizing two major experiments that would be materialized in installation artworks with public visitation, in which participants were able to interact and explore structures representative of the analogies between nature, technology and architecture. Preceding these two main experiments, there would be pop-up paper tests in which one could check some of exploitation provided for major exhibitions.

The first of installations would be based in a relation between the human circulatory system, plant leaves and cobwebs. The second would be the context affinity between the human touch (a kind of 'extension of the body') and cocoons of silkworm silk.

A preliminar lista de artistas, arquitetos e designers (constituída por Machiko Agano, Arne Quinze e Tomás Sarraceno) foi ampliada para Baptiste Debombourg, Bruno Munari, David Pelham, Ecologicstudio, Margaret Wertheim, Marion Bataille, Paul Klee, Philip Beesley, Carlo Ratti, Thomas Heatherwick e Marc Newson. Depois reduzida novamente, com seleção final de Tomás Sarraceno, Ecologic Studio, Margaret Wertheim e Phillip Beesley, como os que se relacionam intimamente com a criação de meu experimento cinético sensorial final.

O critério para isto foi se tratarem de artistas-arquitetos ou arquitetos-artistas que concebem ou conceberam intuitivamente ou não estruturas de ramificação.

A iconografia também ampliou seu espaço no estudo e no meio do período do doutorado parti para trabalhos de campo coletando imagens in loco da melhor forma que eu fosse tecnicamente capaz (sem nenhum apoio específico de especialista).

Se elas não eventualmente encantarem o leitor, a menos para mim, elas conseguiram manter acesa a paixão pelo tema e fazer-me compreender por vezes muito mais do que lendo os textos técnicos inicialmente selecionados.

Nem sempre consegui bidimensionalmente eternizar via registros fotográficos todos os grupos de estruturas ramificadas que almejei, como, por exemplo, as tempestades de raios em sua plenitude, mas esta busca contínua segue agora com maior maturidade técnica e melhor acuidade em virtude do treino do olhar.

A preliminary list of artists (constituted by Machiko Agano, Arne Quinze and Tomás Saraceno) was expanded to Debombourg Baptiste, Bruno Munari, David Pelham, Ecologicstudio, Margaret Wertheim, Marion Bataille, Paul Klee, Philip Beesley, Carlo Ratti, Thomas Heatherwick and Marc Newson. Then it was reduced again, with final selection of Thomas Saracen, Ecologic Studio, Margaret Wertheim and Phillip Beesley, as they relate intimately with the creation of my final kinetic sensory experiment.

The criteria for this was being artists, architects, artists or architects who design or designed intuitively or not branching structures.

The iconography also expanded its space in the study and in the middle of the doctorate period I started collecting images in the best way that I was technically able to (without any specific specialist support).

If eventually they do not enchant the reader, at least for me they have managed to keep alive the passion for the subject and make me understand sometimes much more than reading technical texts initially selected.

I have not always managed to bidimensionally immortalize through photographic records of all groups of branched structures that I expected, such as lightning storms in their fullness, but this continuous search continues now with greater technical maturity and better acuity because of eyes training.

Quais os pontos que se espera alcançar [Where to reach]

“Como é que esses sistemas chamados na natureza de complexos e adaptativos de cérebros, colônias de insetos, o sistema imunológico, células, economia global, evolução biológica, podem produzir comportamentos tão complexos e adaptativos de subjacentes regras simples? Como podem organismos interdependentes ainda auto-interessados se reunir para cooperar na resolução de problemas que afetam a sua sobrevivência integralmente? E será que existem princípios gerais ou leis que se aplicam a tais fenômenos? Pode a vida, a inteligência, adaptação serem vistos como mecanicista e computacional?” (MITCHELL, 2009).

Ao longo deste trabalho espero mostrar que há indícios mais que fortes para que se consiga comprovar que, da mesma forma que numa rachadura e num relâmpago, as formas mais eficientes de dissipar e reestruturar a energia seriam por meio de ramificações, e, portanto, considero que concepções estruturais construtivas que já começaram a se delinear neste tipo de estrutura, em detrimento à semitirania das formas cartesianas, começarão a se fazer cada vez mais presentes nas próximas décadas.

Desejo também que fique suficientemente enfatizada a diferença entre o crescimento fractal inspirado na biologia e a tipologia orgânica real. O primeiro muitas vezes nada tem de ver com a vida, mas sim com algoritmos muito simples, que em sua recorrência resultam algumas vezes em modelos bastante próximos do que acontece nas deposições minerais, por exemplo, mas que nada tem a ver com as formas orgânicas em geral associadas a elas.

Almejo também ter estado imersa nos mundos dos cientistas, arquitetos e artistas que não dispõem de uma maneira sistemática de compreender as ideias unificadoras da geometria fractal, para estudar a maneira pela qual os objetos se fundem, separam ou fragmentam através das percepções da geometria fractal.

“How is it that those systems in nature we call complex and adaptive—brains, insect colonies, the immune system, cells, the global economy, biological evolution—produce such complex and adaptive behavior from underlying, simple rules? How can interdependent yet self-interested organisms come together to cooperate on solving problems that affect their survival as a whole? And are there any general principles or laws that apply to such phenomena? Can life, intelligence, and adaptation be seen as mechanistic and computational?” (MITCHELL, 2009).

I hope to show throughout this search that there is more considerable evidence that it demonstrates that, just as in a crack and in a flash, that the most efficient ways to dissipate and restructure energy might be via branches. Therefore I believe that structural construction concepts that have already begun to take shape in this kind of structure, instead of the semi-structural tyranny of the Cartesian shapes, shall be more and more present in the next decades.

I wish that the difference between the fractal growth inspired by biology and the real organic growth is emphasized enough. Fractal growth often has nothing to do with life, but with very simple algorithms which in its recurrence sometimes result in very good models of mineral deposits, for instance, but they have nothing to do with the organic shapes generally associated with them.

I also expect having been immersed in the worlds of scientists, architects and artists who do not have a systematic way to understand the unifying ideas of fractal geometry to study the way in which the objects merge, separate or fragment through the perceptions of fractal geometry.

Métodos para realizar [How to get things done]

Buscando um meio-termo entre a aceitação por parte de muitos biólogos sobre fractalidade em estruturas que se repetem somente em duas escalas de magnificação e a definição matemática em que o conceito de multiplicidade de escalas tendendo ao infinito seja sinequanon para receber o “timbre”, esta pesquisa aborda sensorial e visualmente conceitos de estruturas da natureza e como essas formas se comportam de modos particulares. Desta forma, nesta seção abordo as categorizações das fotografias, estudos de caso e a receita de bolo básica dos experimentos práticos.

É importante ressaltar que a metodologia adotada para os experimentos se centraliza na biomimética, que diverge parcialmente da biotecnologia¹, pois a primeira apenas se inspira no projeto e procedimento biológico natural para realizar algum outro fim.

A seguinte entrevista estruturada é uma mistura adaptada a partir das duas abordagens “Desafio à Biologia” e “Biologia para o Design”, criadas por Janine Benyus (2002; 2012) e que levaram à construção da minha malha do tipo: “a partir da biologia passando pelo projeto de arte-instalação e preparando-se para o desafio da aplicação funcional”, sendo que esta última fase fica apenas apontada embrionariamente para os próximos passos de futuras pesquisas.

1. Descobrir Modelos Naturais

- Encontrar organismos / ecossistemas que estão fazendo o que os humanos querem fazer
- Observar de perto e observar as estratégias
- Navegar na literatura
- Consultar bancos de dados criados por biólogos

Seeking a middle ground between the acceptance by many biologists on fractality structures that are repeated in just two scales of magnification and the mathematical definition of the concept of multiple scales to infinity is sinequanon to receive the “pitch”, this research sensorially and visually addresses concepts of structures of nature and how these behave in particular ways. This way, in this section I address the categorizations of photographs, study cases and the basic cake recipe of practical experiments.

It is important to stress that the methodology minded for the experiments focuses on biomimicry/biomimetics, which differs partially from biotechnology² because the first is only inspired by the design procedure and natural biology to accomplish some other purpose.

This structured interview is an adapted mix up from the two approaches “Challenge to Biology” and “Biology to Design” created by Janine Benyus (2002; 2012) leading to the buildup of my “from biology through installation-art project and preparing for the real function challenge” and the latter is just pointed out in its embryonic stage to the next steps of future researches.

1. Discover Natural Models

- Find organisms/ecosystems that are doing what humans want to do
- Observe closely, and note the strategies
- Browse the literature
- Consult database created by biologists

¹ Segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica da ONU, biotecnologia significa “qualquer aplicação tecnológica que use sistemas biológicos, organismos vivos ou derivados destes, para fazer ou modificar produtos ou processos para usos específicos”.

² According to UN Convention on Biological Diversity, biotechnology means “any technological application that uses biological systems, living organisms or derivatives thereof, to make or modify products or processes for specific use”.

Desta forma, eu comecei a estudar casos de acordo com sua proximidade cor: Vermelho, Translúcido, Cinza, Verde, Ocre, Magenta e Marrom.

2. Padrões abstratos profundos e Princípios

- O que é que faz com que determinada estratégia seja bem-sucedida? É a forma, o processo ou o sistema, ou todos os três juntos?

Então rearranjei as categorias relativas à sua função numa dada estrutura, em relação à localização no corpo biológico e de acordo com o nível de limitação cinética.

3. Identificar aplicações potenciais

- Determinar quais disciplinas ou quais indústrias se deparam com os mesmos desafios que os organismos.

4. Emular jogando e projetando

- Fazer brainstorm de múltiplas soluções
- Consultar especialistas biológicos ou a literatura primária para obter mais detalhes quando necessário
- Saber detalhes da morfologia
- Considerar os efeitos de escala
- Em que contexto que a forma funciona?
- O processo também pode ser imitado?
- Saber detalhes do processo biológico
- Considerar os efeitos de escala
- Em que contexto o processo funciona?
- O ecossistema também pode ser imitado?
- Saber detalhes das condições do ecossistema
- Em que contexto que o ecossistema funciona?

Nesta fase eu selecionei alguns sistemas e estruturas biológicas naturais e procurei relacioná-los em si.

5. Definir parâmetros e condições de operação

- "Clima"
- "Nutrientes"
- "Social"
- "Temporal"

This way I started studying cases according their color proximity: Red, Translucent, Silver, Grey, Green, Ocher, Magenta and Brown.

2. Abstract Deep Patterns and Principles

- What is it that makes that particular strategy successful? Is it form, process, or system, or all three together?

Then I rearranged the categories concerning their function in a given structure; regarding the location on the biological body and according to the level of kinetic limitation.

3. Identify Potential Applications

- Determine which disciplines or industries are faced with the same challenges as the organisms.

4. Emulate by playing and designing

- Brainstorm multiple solutions
- Consult biological experts or the primary literature for more details as needed
- Find out details of the morphology
- Consider scale effects
- In what context does the form function?
- Can process be also mimicked?
- Find out details of the biological process
- Consider scale effects
- In what context does the process function?
- Can ecosystem also be mimicked?
- Find out details of the ecosystem conditions
- In what context does the ecosystem function?

At this stage I have selected some natural biological systems and structures and tried to relate them to each other.

5. Define Operating Parameters and Conditions

- "Climate"
- "Nutrient"
- "Social"
- "Temporal"

Nesta fase eu confrontei o funcionamento dos meus experimentos diante de possíveis parâmetros externos a que eles se confrontariam.

6. Definir funções

- Identificar funções (ou seja, finalidade, função ou uso)
- Como a natureza faz essa função?
- Como que a natureza não faz essa função?
- Refazer perguntas com outras palavras-chave

Nesta fase eu identifiquei alguns inputs e outputs que poderiam se apresentar na interação entre diversos mini-sistemas (de estruturas mutantes nas arte-instalações) funcionando ao mesmo tempo.

7. Avaliar

- O projeto é localmente sintonizado ao utilizar materiais e energia facilmente disponíveis, cultivando relações de cooperação, alavancando processos cíclicos, com retornos de opinião?
- O recurso de projeto (materiais e energia) é eficiente através da reciclagem de todos os materiais, de forma adequada à função, utilizando design multifuncional, utilizando processos de baixo consumo de energia?
- Será que combina componentes modulares?
- Será que constrói de baixo para cima?
- Será que ela se auto-organiza?
- Será que incorporam resiliência, descentralização e redundância através de variação?
- Será que incorpora a diversidade?
- Será que mantém a integridade através da auto-renovação?
- Será que replica estratégias que funcionam?
- Será que remodela informação?
- Será que integra o inesperado?

Esta fase (diante de sua impossibilidade de completude devido à necessidade de confrontar os objetos construídos diante de uma gama maior de situações) apenas delinea ações que poderão ser observadas no prolongamento de possível pesquisa nessa área.

At this stage I confronted the functioning of my experiments before possible external parameters that they would face.

6. Define functions

- Identify functions (i.e., purpose, role, or use)
- How does nature do that function?
- How does nature not do that function?
- Reframe questions with additional keywords

At this stage I have identified some inputs and outputs that could be present in the interaction between various mini systems (of mutant structures in the installation artworks) running at the same time.

7. Evaluate

- Is the design locally attuned by using readily available materials and energy, cultivating cooperative relationships, leveraging cyclic processes, using feedback loops?
- Is the design resource (material and energy) efficient at recycling all materials, fitting form to function, using multi-functional design, using low-energy processes?
- Does it combine modular components?
- Does it build from the bottom up?
- Does it self-organize?
- Does it embody resilience through variation, redundancy, and decentralization?
- Does it incorporate diversity?
- Does it maintain integrity through self-renewal?
- Does it replicate strategies that work?
- Does it reshuffle information?
- Does it integrate the unexpected?

This stage which cannot be completed due to the need of confronting the built objects before a wider range of situations) only outlines actions that may be observed in the possible extension of research in this area.

Resumo da fundamentação teórica [Sum up of the theoretical foundation]

O estudo da morfogênese serve ao propósito de entender os mecanismos de criação e crescimento das formas biológicas, sendo que, biologicamente falando, morfogênese é um processo de modelagem dos organismos, ou seja, do desenvolvimento a partir do zigoto, através da formação dos tecidos, órgãos e sistemas. Na primeira metade da década de 1950, Alan Turing acreditava que padrões presentes no corpo de animais como zebras, tigres etc., tinham sua origem numa química que poderia ser analisada quantitativamente, mas anos depois se descobriu que estas respostas eram muito mais caóticas do que se supunha. Para meu embasamento no conceito de morfogênese, as principais publicações foram:

Mechanisms of Morphogenesis: the creation of biological form (DAVIES 2005), Branching Morphogenesis - Molecular Biology Intelligence Unit (DAVIES, 2006), On Growth and Form (Thompson, 2011), 'The Chemical Basis of Morphogenesis' in Philosophical Transactions of the Royal Society of London (TURING, 1952), 'Is morphogenesis an intrinsically robust process?' in Journal of Theoretical Biology (Goodwin, Kauffman & Murray, 1993).

A morfologia é o estudo da forma do organismo ou de uma de suas partes. Como meu foco está nas ramificações, a comparação entre as estruturas de veias, artérias, arteríolas, corais e plantas vasculares toma boa parte da fundamentação teórica. A partir daí busco entender o desenvolvimento das formas ramificadas e como elas evoluem ao longo da vida ou eventualmente suas mutações, que culminam no capítulo sobre os experimentos com estruturas biomiméticas. Em morfologia foram:

The Vein Book (BERGAN, 2007), Comparative Morphology of Vascular Plants (FOSTER, 1974), Morphology and Evolution of Vascular Plants (GIFFORD & FOSTER, 1989), The Development of Animal Form: Ontogeny, Morphology, and Evolution (MINELLI, 2003).

Embora não se possa prever cientificamente a respeito de generalizações a partir de um único exemplo, busco padrões entre as formas ramificadas em diversas áreas da natureza,

The study of morphogenesis serves the purpose of understanding the mechanisms of creation and growth of biological forms and, biologically speaking, morphogenesis is a process modeling bodies, i.e. its development from zygote, through the formation of tissues, organs and systems. In the first half of the 1950s, Alan Turing believed that patterns present in the body of animals such as zebras, tigers, etc., had their origin in chemical relationships that could be analyzed quantitatively, but years later it was discovered that these responses were much more chaotic than previously thought. Major publications for my foundation on the concept of morphogenesis were:

Morphology is the study of the shape of an organism, or one of its parts. Since my focus is on branchings, the comparison between the structures of veins, arteries, arterioles, corals and vascular plants takes much of the theoretical foundation. From there I try to understand the shapes' development and also how shapes evolve over a lifetime or possibly their mutations, culminating in the chapter on experiments with biomimetic structures. In morphology they were:

Although one cannot scientifically predict generalizations from a single sample, I seek patterns among branched forms in various areas of nature, not only among the

não apenas dentre as biológicas, mas também como e por que estruturas minerais podem ter relações estruturais bastante evidentes com formas de diversos seres vivos. Para os padrões de ramificações, constatei de grande relevância:

biological forms, but also how and why mineral structures may have quite evident structural relationships with various forms of living beings. For the branching patterns, I found great relevance in:

How nature works – the science of self-organized criticality (BAK, 1999), The self-made tapestry pattern formation in nature (Ball, 1999), Branches: Nature's Patterns: a tapestry in three parts (Ball, 2009), 'The formation of patterns in non-equilibrium growth' in Nature 343 (BEN-JACOB & GARIK, 1990), Complexus Mundi - Emergent Patterns in Nature (Novak, 2006) e Patterns in Nature (Stevens, 1974).

A descoberta da geometria fractal está alinhada com necessidades de produção de modelos que melhor se aproximem nas formas existentes na natureza. Pelo fato do fractal possuir uma granulometria infinita, nenhum objeto natural pode ser um fractal literal. Objetos naturais podem exibir uma estrutura semelhante ao fractal, porém com estrutura de tamanho limitado. Estas relações entre natureza e matemática, com recursos da modelagem fractal por crescimento de superfícies podem ser verificados em:

The discovery of fractal geometry is aligned with the needs of producing models that best approached the forms existing in nature. Because of the fractal has an infinite particle size, no natural object can be a literal fractal. Natural objects can display structure similar to a fractal, but with a structure of limited size. These relationships between nature and mathematics, with resources for fractal surfaces growth modeling can be checked at:

Mathematics in Nature Modeling Patterns in the Natural World (Adam, 2006), Fractals concepts in surface growth (BARABÁSI & STANLEY, 1995), Fractals Everywhere (Barnsley, 2012), Fractal Geometry Mathematical Foundations (Falconer, 2003), Fractals and Chaos: The Mandelbrot Set and Beyond (Mandelbrot, 2004), Fractal for the classroom (PEITGEN; JÜRGENS & SAUPE, 1992), The pattern book – fractals, art and nature (PICKOVER, 2000), Nature's Fractal Geometry: A Physiological Response (POPENOE, 2011).

Após uma primeira fase de encantamento com formas que se repetiam ad infinitum na tela do computador, por exemplo, os conjuntos de Julia ou Mandelbrot, vários pesquisadores se voltaram para outras aplicações destas teorias matemáticas, investigando possibilidades de relações entre a geometria fractal e a biologia, sendo especialmente bem argumentada em:

After an initial moment of enchantment with shapes that were repeated ad infinitum on computer screen, for instance, Mandelbrot and Julia sets, many researchers have turned to other applications of these mathematical theories, investigating possibilities of relations between fractal geometry and biology, being specially well argued in:

Fractal Geometry in Biological Systems – an analytical approach (IANNACCONE & KHOKHA, 1996), Fractal Modelling Growth and Form in Biology (KAANDORP, 1994), Fractals and Chaos Simplified for the Life Sciences (Liebovitch, 1998), The Algorithmic Beauty Of Sea Shells (Meinhard, 2009), The Algorithmic Beauty of Plants (Prusinkiewicz & Lindenmayer 1990), Fluctuations and scaling in biology (VICSEK, 2001).

Na última década, alguns profissionais da construção civil se apropriaram dos conceitos da fractalidade e lentamente começaram a introduzi-los em seus projetos, na esteira da análise de alguns teóricos da arquitetura e do design que retomaram as origens do uso destes conceitos nas construções e artes de forma provavelmente apenas de forma intuitiva. Seu uso consciente em arquitetura e engenharia é discutido em:

Fractal Architecture: Organic Design Philosophy in Theory and Practice (HARRIS, 2012), Fractals in Engineering: New Trends in Theory and Applications (LÉVY-VÉHEL& LUTTON, 2010), Architetture Frattali (PRIORI, 2008).

Em sistemas dinâmicos complexos, determinados resultados podem ser instáveis ou imprevisíveis no que diz respeito à evolução temporal como função de seus parâmetros e variáveis. Os seguintes livros introduziram o conceito contemporâneo de caos como originador dos padrões fractais, sendo os últimos considerados os vestígios geométricos da aplicação do caos:

Fractals: the patterns of chaos, discovering a new aesthetic of art, science, and nature (BRIGGS, 1992), Chaos making a new science (GLEICK, 2008), Será que Deus joga dados? (STEWART, 2002).

Sinônimo de epistemologia da complexidade, o termo complexidade é um ramo da filosofia da ciência inaugurado por Ilya Prigogine, Isabelle Stengers e Edgar Morin nos anos 1970. Os principais livros consultados sobre complexidade e seus conceitos envolvidos tais como as características dos sistemas adaptativos complexos, dinâmica, informação, computação, genética e transdisciplinaridade foram:

Visual Complexity: Mapping Patterns of Information (LIMA, 2011), Complexity - A Guided tour (Mitchell, 2009), Ciência com consciência (MORIN, 2000) e Complexity – the emerging science at the edge of order and chaos (Waldrop, 1993).

Dados os limites tênues entre arte e construção espacial com uso da tecnologia na minha produção experimental, recorri à fundamentação do espaço da arquitetura versus o espaço da arte-instalação:

In the last decade, some building professionals have appropriated the concepts of fractality and slowly begun to introduce them in their projects in the wake of some theoretical analysis of architecture and design that revisited the origins of the use of these concepts in construction and arts, so probably only intuitively. Their conscious use in architecture and engineering is discussed in:

In complex dynamic systems, certain results can be unpredictable or unstable with respect to the temporal evolution as a function of its parameters and variables. The following books have introduced the concept of contemporary chaos as the originator of fractal patterns, the latter considering geometric traces of applying chaos:

Synonymous of epistemology of complexity, the term complexity is a branch of philosophy of science inaugurated by Ilya Prigogine, Isabelle Stengers and Edgar Morin in the 70's. The main books consulted about complexity and the related concepts such as the characteristics of complex adaptive systems, dynamics, information, computation, genetics, and transdisciplinarity were:

Given the tenuous boundaries between art and space construction with the use of technology in my experimental production, I resorted to the reasoning of the space of architecture versus the space of installation-art:

Installations by Architects: Experiments in Building and Design (Bonnemaison & Eisenbach, 2009), Installation art (BISHOP, 2005), Surface Tension: Problematics of Site (EHRlich & LABELLE, 2003), Site-Specific Art. Performance, Place and Documentation (KAYE, 2000), One Place after Another: Site-Specific Art and Locational Identity (KWON, 2004), Installation Art In Close-Up (Art in Close-up) (MALPAS, 2007), From Margin to Center. The Spaces of Installation Art (REISS, 1999), Structure in Sculpture (SCHODEK, 1993), Design through making - Architectural Design Vol 75 No 4 July/August 2005 (SHEIL, 2005), Space, Site, Intervention: Situating Installation Art (SUDERBURG, 2000).

Nos campos da percepção sensível do espaço e da memória subjetiva, o único livro em que percebi uma real transposição do leitor, como no trecho em que ele descreve com delicadeza os aromas da casa de infância que permeiam pela vida adulta, foi:

A poética do espaço (BACHELARD, 2005).

In the fields of sensitive perception of space and subjective memory the only book in which I noticed a real implementation of the reader, such as the passage that he describes with delicacy childhood home's scents that permeate into adulthood, was:

Os seguintes livros me direcionaram quanto à fundamentação formal do discurso, especialmente como lidar com o campo de neblina causado pela sinergia de conceitos típicos de uma área aplicada a outra num trabalho transdisciplinar que exige a adequação dos termos em contextos pertinentes:

How to Live Together: Novelistic Simulations of Some Everyday Spaces (BARTHES, 2012), Science, order, and creativity (BOHM & PEAT, 2000), Manifesto da transdisciplinaridade (NICOLESCU, 1999), Os Problemas da Estética (PAREYSON, 2001), A New Kind of Science (WOLFRAM, 2002), e A pesquisa em arte: um paralelo entre a arte e a ciência (ZAMBONI, 2001).

The following books have directed me concerning the formal speech, especially dealing with the field of fog caused by the synergy of typical concepts of an area applied to other fields of knowledge in a transdisciplinary work that requires adequacy of the terms in relevant contexts:

A biomecânica estuda a estrutura e a função dos sistemas biológicos utilizando métodos da mecânica, sendo que a vertente da biomecânica externa estuda as forças físicas que agem sobre os corpos enquanto a vertente da biomecânica interna estuda a mecânica e os aspectos físicos e biofísicos das articulações, dos ossos e dos tecidos histológicos do corpo:

Insects in flight – a glimpse behind the scenes in the biophysical research (NACHTIGALL, 1974), Life's devices – the physical world of animals and plants (VOGEL, 1998), Comparative biomechanics – Life's Physical World (Vogel, 2003).

Biomechanics studies the structure and function of biological systems using mechanical methods, and the external aspect of biomechanics studies the physical forces acting on bodies while the inner aspect of biomechanics studies the mechanics and the physical and biophysical joints, bone and tissue histology of the body:

A palavra biofilia foi usada pela primeira vez por Erich Fromm (1964) para descrever uma orientação psicológica de ser atraído para tudo que é vivo e vital. Wilson usa o termo no mesmo sentido, quando ele sugere que biofilia descreve "as ligações que os seres humanos buscam subconscientemente com o resto da vida." Ele propôs a possibilidade de que os seres humanos têm filiações profundas com a natureza estão enraizados em nossa biologia. Já Edward Wilson (1984) define biofilia como "o desejo de filiar-se a outras formas de vida". De acordo com a hipótese de biofílica, preferências humanas em direção as coisas na natureza, enquanto refinadas através da experiência e da cultura, são hipoteticamente o produto da evolução biológica:

The word biophilia was first used by Erich Fromm (1964) to describe a psychological orientation of being attracted to all that is alive and vital. Wilson uses the term in the same sense when he suggests that biophilia describes "the connections that human beings subconsciously seek with the rest of life." He proposed the possibility that the deep affiliations humans have with nature are rooted in our biology. But Edward Wilson (1984) defines biophilia as "the urge to affiliate with other forms of life". According to the biophilic hypothesis, human preferences toward things in nature while refined through experience and culture, are hypothetically the product of biological evolution:

Biophilic and Bioclimatic Architecture: Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture (ALMUSAED, 2010).

Biomimética é o exame da natureza, seus modelos, sistemas, processos e elementos para imitar ou inspirar-se, a fim de resolver problemas humanos. O campo emergente da biomimética tem dado origem a novas tecnologias criadas a partir de engenharia biologicamente inspirado, tanto na macroescala como na nanoescala. No entanto, a biomimética não é um conceito que se poderia chamar de novo, porque os seres humanos foram olhar a natureza de respostas para ambos os problemas complexos e simples ao longo de sua existência. A natureza tem resolvido muitos dos problemas atuais de engenharia como a hidrofobicidade, a resistência do vento, auto-montagem, e aproveitamento da energia solar através da mecânica evolutivas de vantagens seletivas, como pode-se ver em:

Biomimicry or biomimetics is the examination of nature, its models, systems, processes, and elements to emulate or take inspiration from in order to solve human problems. The emerging field of biomimicry has given rise to new technologies being created from biologically inspired engineering at both the macro scale and nanoscale levels. However, biomimetics is not a precisely new concept, because humans have been looking at nature for answers to both complex and simple problems throughout their existence. Nature has solved many of today's engineering problems such as hydrophobicity, wind resistance, self-assembly, and harnessing solar energy through the evolutionary mechanics of selective advantages, as it can be seen at:

Bulletproof Feathers: How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology (ALLEN, 2010), Biomimetics and Ocean Organisms: An Engineering Design Perspective (ANDERSON & VINCENT, 2013), Innovation inspired by nature – Biomimicry – inside the revolutionary new science that is rediscovering life's best ideas – and changing the world (BENYUS, 2002), Biomimesis (BENYUS, 2012), Architecture without architecture: Biomimicry design (GINATTA, 2010), Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings (GRUBER, 2010), What is the architect doing in the jungle? Biornametics (IMHOF & GRUBER, 2013), Biomimetics Biologically inspired Technologies (YOSEPH, 2006), Bioinspiration and Biomimicry in Chemistry: Reverse-Engineering Nature (SWIEGERS, 2012).

As possibilidades de novos paradigmas na construção do espaço sugere uma tangência com as revoluções do pensamento sustentável no design e arquitetura, que foram ampliados na consulta dos seguintes livros recentemente impressos:

Architectural Inventions: Visionary Drawing of Buildings (BUA & GOLDFARB, 2012), Nature Got There First: Inventions Inspired by Nature (GATES, 2010), Small Scale: Creative Solutions for Better City Living (MOSKOW & LINN, 2010), Design Futures (QUINN, 2011), To Life!: Eco Art in Pursuit of a Sustainable Planet (WEINTRAUB, 2012).

The possibilities for new paradigms in the construction of the space suggests a tangency with the mind-shifting sustainability revolutions in design and architecture, which were expanded in the consultation of the following recently printed books:

Para a maioria dos autores, a biônica, apesar da semelhança da definição com biomimética, diferencia-se dela por procurar a "imitação por meio das máquinas". Porém, alguns autores trataram os termos com bastante semelhança, especialmente nas primeiras publicações do engenheiro e arquiteto alemão Frei Otto, conhecido mundialmente por suas membranas retesadas. Alguns exemplos das semelhanças e diferenças entre biônica e biomimética se encontram em:

Engineering Nature Art & Consciousness in the post-Biological Era (Ascott, 2006), Bionic design. Lo sviluppo del prodotto industriale attraverso lo studio della natura (COLOMBO, 2009), Bionics (MARTEKA, 1965), Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler (NACTIGALL, 2002), Bau-Bionik: Natur - Analogien – Technik (NACTIGALL, 2003), Bionik – Lernen von der Nature (NACTIGALL, 2008), Architecture et Bionique: constructions naturelles (OTTO, 1985).

For most authors, bionics, despite the similarity of the definition with biomimetics, seeks "through imitation machines", thereby differentiating itself. However some authors have treated the terms quite similarly, especially in the early publications of the German architect and engineer Frei Otto, best known for his tension membranes. Some examples of the similarities and differences between biomimicry and bionics are found at:

Materiais inteligentes são materiais que possuem propriedades que podem ser significativamente alterados de forma controlada por estímulos externos, como umidade, pH, temperatura, campos elétricos ou magnéticos. Materiais de alto desempenho são aqueles que enfatizam força, confiabilidade, miniaturização, redução de peso, dissipação térmica, condutividade elétrica e de refletividade. Biomateriais se referem a matéria ou método construtivo que interaja com sistemas biológicos. Discutem-se estes conceitos em:

Smart Materials and New Technologies for architecture and design professions (Addington & SCHODEK, 2005), Protocell architecture – Architectural Design vol 81, no 2 March/April 2011 (SPILLER & ARMSTRONG, 2011), UltraLight - Super Strong: A New Generation of Design Materials (STATTMANN, 2003), Structural Biomaterials (VINCENT, 2012).

Smart materials are materials that have properties that can be significantly changed in a controlled way by external stimuli, such as moisture, pH, temperature, electric or magnetic fields. High performance materials are those that emphasize strength, reliability, miniaturization, weight savings, thermal dissipation, electrical conductivity and reflectivity. Biomaterials relate to any matter or construct that interacts with biological systems. These concepts are discussed in:

Visando correta aplicação das experiências sensoriais nos últimos trabalhos práticos, consultei as seguintes publicações sobre sensores e sensoriamento:

Aiming correct application of sensory experiences in recent practical works, the following publications on sensors and sensing were consulted:

Sensors and sensing in biology and engineering (BARTH, HEMPHREY & SECOMB, 2003), Biologically Inspired Networking and Sensing: Algorithms and Architectures (LIO & VERMA, 2011).

As tentativas de recriar os fenômenos biológicos de maneira artificial podem resultar não só na melhor compreensão teórica dos fenômenos estudados como também em aplicações práticas dos princípios biológicos na tecnologia de computadores, diversas áreas da engenharia e da construção civil. A definição contemporânea de vida e fundamentos da vida artificial:

Attempts to recreate biological phenomena in artificial manner may result not only in better theoretical understanding of the phenomena studied, but also in practical applications of biological principles in computer technology besides areas of engineering and construction. Contemporary definition and introduction to artificial life:

Michael. Artificial Life (GESSNER, 2009), Christopher. Artificial Life: An Overview (LANGTON, 1995), 'Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up'. In: TRENDS in Cognitive Sciences Vol.7 No.11 November (BEDAU, 2003).

Imagens de padrões de ramificações:

Branching pattern images:

Inside the body – fantastic images from beneath the skin (ALERS-HANKEY & CHISHOLM, 2006), Supervision – a new view of nature (AMATO, 2003), Microcosmos – discovering the world through microscopic images from 20 x to over 20 million x magnification (BROLL, 2007).

Os termos trama e rede originariamente exibem o significado de conjunto entrelaçado de fios, cordas, cordéis, arames, etc., com aberturas regulares, fixadas por nós ou malhas formando espécie de tecido aberto, destinado a aplicações pré-históricas, por exemplo, caça ou pesca, para fins de apresamento ou retenção do animal desejado, por exemplo. Contudo, por assimilação analógica, passou a designar uma quantidade de pontos, concretos ou abstratos, interligados por relações entre várias áreas do conhecimento, tais como ciências sociais e computação.

The terms warp and network originally exhibited the meaning of set interlaced yarns, ropes, cords, wires, etc. with regular gaps, determined by nodes or mesh fabric forming species open, intended for prehistoric applications, for example, fighter or fishing, for purposes of arrest or detention of the animal desired, for instance. However, by analogous assimilation, it was renamed for a number of concrete or abstract points, interconnected by relationships in many knowledge areas, such as social sciences and computing.

Biologically inspired textiles (ABBOTT & ELLISON, 2008), Tactile Perception of Textiles in a Virtual-Reality System (Allerkamp, 2010), Spider Silk (BRUNETTA & CRAIG, 2010), Techno textiles 2 – revolutionary fabrics for fashion and design (CLARKE & O'MAHONY, 2007), Spiderwebs and silk – tracing evolution from molecules to genes to phenotypes (CRAIG, 2003), Extreme textiles – designing for high performance (MCQUAID, 2005), Fashioning technology – a DIY intro to smart crafting (PAKHCHYAN, 2008), Textile futures – fashion, design and technology (QUINN, 2010).

Artistas/arquitetos/designers na seção estado-da-arte:

Artists/architects/designers in the state-of-the-art section:

Agano Machiko (portfolio collection) (MACHIKO, UCHIYAMA & REUTER, 2003), Digital Water Pavilion at Zaragoza's Milla Digital and Expo 2008 (NICOLINO & RATTI, 2008), 'The World Dubai Marine Life Incubator: Eco Machines V.3' in Architectural Association AA Inter 10. 09/10 (Ecologic Studio, 2010), Crocheting Adventures with Hyperbolic Planes (TAIMINA, 2009), A Field Guide to Hyperbolic Space: An Exploration of the Intersection of Higher Geometry and Feminine Handicraft (WERTHEIM, 2007), Hylozoic Ground: Liminal Responsive Architecture (BEESLEY, OHRSTEDT & ISAACS, 2010), Kinetic Architectures and Geotextile Installations (BEESLEY, 2010), Responsive Architectures: Subtle Technologies (BEESLEY, et al, 2006), On Growth and Form: Organic Architecture & Beyond (BEESLEY & BONNEMAISON, 2008., Thomas Heatherwick: Making (HEATHERWICK, 2012., Tomás Saraceno: 14 Billions (ARRHENIUS, et al, 2012).

Livretos suplementares com resumos das palestras, leituras recomendadas, bibliografias e questões a considerar:

Supplemental booklets with outlines of the lectures, recommended readings, bibliographies, and questions to consider:

Chaos (Al-Khalili, 2010), Fractals: The Colors of Infinity (CLARKE & MANDELBROT 2004).

The Great Courses é uma marca aplicada a The Teaching Company (uma empresa em Chantilly, na Virginia, E.U.A.) para suas gravações de palestras de professores universitários. Os cursos seguintes deram uma grande ajuda na minha base teórica no início da minha pesquisa de doutorado:

The Great Courses is the brand applied by The Teaching Company (at Chantilly, Virginia, U.S.A.) to its recordings of lectures given by university professors. The following courses gave a major help in my theoretical basis in the beginning of my doctorate research:

Chaos. Professor Steven Strogatz, Shape of Nature. Professor Satyan L. Devadoss.

Conversas TED – apresentações inspiradoras:

TED Talks – inspiring presentations:

The promise of biomimicry (BENYUS, 2007), Biomimicry in action (BENYUS, 2009), The fractals at the heart of African designs (EGLASH, 2007), Building the Seed Cathedral (HEATHERWICK, 2011), My creations, a new form of life (JANSEN, 2007), Don't build your home, grow it! (JOACHIM, 2010), Impossible photography (JOHANSSON, 2012), Fractals and the art of roughness (MANDELBROT, 2010), How can technology transform the human body? (MCRAE, 2012), Silk, the ancient material of the future (OMENETTO, 2011), Architecture that senses and responds (RATTI, 2011), The beautiful math of coral (WERTHEIM, 2009).

CAPÍTULO [CHAPTER] 2

Relações entre biologia e matemática em geração de estruturas com padrões ramificados [Relationships between biology and math in generation of branching pattern structures]

A morfogênese de ramificação pode ser estudada em níveis diferentes, de genética molecular a modelagem matemática. Historicamente, a maioria dos pesquisadores de ramificações fazia fortes ligações com os que trabalhavam em diferentes aspectos do seu organismo ou tecido escolhido, e não com aqueles que estudavam ramificação em outros sistemas (BALL, 2009).

Alguns dos primeiros trabalhos em sistemas ramificados eram de cunho matemático; Leonardo da Vinci estudou as dimensões de árvores que se desenvolvem por ramificação dipodial (BALL, 1999) e ele mostrou que a razão entre o diâmetro de um ramo de geração n para o diâmetro de um de geração de $n+1$ foi constante para todos n (LONG, 2004). A constância deste número, agora chamado número Da Vinci, deixa implícito que essas estruturas são livres de escala, ou seja, não se pode deduzir somente a partir da relação entre tamanhos de ramos se os ramos em questão são os maiores ou os menores. O trabalho de Da Vinci sobre ramificação foi um dos primeiros exemplos do que hoje seria considerada a matemática de fractais (STEVENS, 1974).

Mais recentemente, análises semelhantes foram realizadas em estruturas ramificadas de animais, por exemplo: epitélio das vias aéreas caninas, com o resultado de que a regra de Da Vinci é válida para uma grande variedade de n (BARABÁSI & STANLEY, 1995). As primeiras e as últimas ramificações surgem de regras algorítmicas na maioria dos sistemas, sendo a geometria fractal apenas uma aproximação útil para os estágios intermediários de crescimento (GARCIA-RUIZ et al., 1993). Mesmo assim, os sistemas adicionais devem operar para configurar a forma característica de cada órgão e evitar colisões (THOMPSON, 2011).

"A simplicidade do modelo: a natureza é mais complexa que a geometria dos fractais, pois busca a eficiência de um número de itens infinitamente superior às preocupações algorítmicas da matemática. O fractal matemático busca isolar as condições iniciais sensíveis." (S.T.)

Branching morphogenesis can be studied at different levels, from molecular genetics to math modeling. Historically, most researchers into the subject of branching have made their strongest connections with others working on different aspects of their chosen organism or tissue, rather than with those studying branching in other systems (BALL, 2009).

Some of the earliest work on branched systems was mathematical; Leonardo da Vinci studied the dimensions of trees that develop by dipodial branching (BALL, 1999) and showed that the ratio of the diameter of a branch of generation n to the diameter of one of generation $n+1$ was constant for all n (LONG, 2004). The constancy of this number, now called Da Vinci's number, implied that such structures are scale-free, that is, one cannot deduce, from the ratio of branch sizes alone, whether the branches in question are the very largest or the very finest. Da Vinci's work on branching was one of the earliest examples of what would now be considered the mathematics of fractals (STEVENS, 1974).

More recently, similar analyses have been performed on branched structures in animals, for example canine airway epithelium, with the result that Da Vinci's rule holds for a large range of n (BARABÁSI & STANLEY, 1995). The very first branching events and the very last depart from the rule in most systems, and fractal geometry is only a useful approximation for the middle stages of growth (GARCIA-RUIZ et al., 1993). Even then, additional systems must operate to set up the characteristic shape of each organ and to avoid collisions (THOMPSON, 2011).

"The simplicity of the model: nature is more complex than the geometry of fractals search because the efficiency of a number of items infinitely superior to the concerns of algorithmic mathematics. The mathematician fractal seeks to isolate the sensitive initial conditions." (S.T.)

Estudos sobre fractais têm sido unidos a abordagens matemáticas com base nas características de modelos puramente físicos, na tentativa de compreender a extensão em que a morfogênese de ramificação biológica pode depender de propriedades físicas dos seus componentes, tais como viscosidade, pressão e stress mecânico (KAANDORP, 1994), em vez de qualquer característica especial "biológica", como a remodelação do citoesqueleto.

Alguns dos mais interessantes destes modelos têm utilizado “ramificação viscosa” — o fenômeno de ramificação que ocorre quando um líquido de baixa viscosidade é forçado a entrar em um de maior viscosidade — para modelagem de ramificação epitelial (VICSEK, 1988). Outras abordagens matemáticas envolvem abordagens baseadas em regras¹ de programas de computador, em que regras são usadas para interpretar simulados parâmetros físico-químicos (KUMAR & BENTLEY, 2003), tais como campos morfogênicos que ao longo de um intervalo amplo de parâmetros, reproduzem padrões de ramificação biologicamente plausíveis (PELCÉ, 2004).

Estudos microscópicos com luzes da era vitoriana indicavam os arranjos básicos de células nos tecidos submetidos à ramificação e identificavam os principais componentes celulares, tais como cones de crescimento neuronal, que podem controlar a ramificação em nível de uma única célula. (BALL, 1999). No século passado, pela possibilidade de uso do microscópio eletrônico, estudos estruturais indicaram que as ramificações das células de condução poderiam mostrar especializações (BALL, 1999).

Nos últimos cinquenta anos, essas observações têm sido unidas por meio de análises bioquímicas, por técnicas de cultura e por intervenções experimentais que permitiram que constituintes bioquímicos específicos fossem correlacionados com aspectos particulares da morfogênese (BOURGINE & LESNE, 2011).

Fractal studies have been joined by mathematical approaches based on the characteristics of purely physical models, in an attempt to understand the extent to which biological branching morphogenesis might rely on physical properties of their components, such as viscosity, pressure and mechanical stress (KAANDORP, 1994), rather than on any especially ‘biological’ characteristics such as cytoskeletal remodeling.

Some of the most interesting of these models have used “viscous fingering” — the branching phenomenon that takes place when a liquid of low viscosity is forced into one of higher viscosity — to model epithelial branching (VICSEK, 1988). Other mathematical approaches involve rule²-based approaches, in which rules in computer programs are used to interpret simulated physicochemical parameters (KUMAR & BENTLEY, 2003), such as morphogenetic fields which, over a broad range of parameters, reproduce biologically-plausible branching patterns (PELCÉ, 2004).

Light-microscopic studies of the Victorian era indicated the basic arrangements of cells in tissues undergoing branching and identified key cellular components such as neuronal growth cones, which can control branching at a single-cell level (BALL, 1999). In the last century, via the possibilities of the use of the electron microscope, ultra-structural studies indicated that driving branching cells could show various specializations (BALL, 1999).

Over the last fifty years, these observations have been joined by biochemical analyses, by culture techniques and by experimental interventions that have allowed specific biochemical constituents to be correlated with particular aspects of morphogenesis (BOURGINE & LESNE, 2011).

¹ Essas regras que representam sistemas moleculares, tais como aqueles que ligam um receptor para a transcrição de um gene em mudança de comportamento das células.

² These rules represent molecular systems such as those that connect a receptor to the changing transcription of a gene to changing cell behavior.

Nesta esteira, segundo Davies, “a manipulação genética permitiu que pesquisas experimentais fizessem mudanças exatas e conhecidas no genoma e as correlacionasse com desenvolvimento normal e doença congênita” (DAVIES, 2002).

Este foco de pesquisa começou a mudar com a percepção de que as mesmas famílias de moléculas e os mesmos padrões de comportamento das células parecem transformar-se em diferentes sistemas. Ainda não está claro até que ponto os mecanismos de extensão de morfogênese da ramificação são verdadeiramente conservados entre órgãos e organismos, mas uma série de conferências dedicadas a aspectos de ramificação têm mostrado o valor de imersão experimental na biologia e mais particularmente, de um melhor diálogo entre os dados biológicos e modelagem matemática (DAVIES, 2005).

In this track, according to Davies, “genetic manipulation has enabled experimental research to make exact and known changes to the genome and correlate these with normal development and congenital disease” (DAVIES, 2002).

This research focus has begun to change, with the realization that the same families of molecules and the same patterns of cell behavior seem to turn up in different systems. It is still not clear to what extent mechanisms of branching morphogenesis are truly conserved across organs and organisms, but a number of conferences devoted to aspects of branching have shown the value of experimentalists immersing themselves in the biology and, most particularly, of an improved dialogue between biological data and mathematical modeling (DAVIES, 2005).

Samambaia e brócolis romanesco: objetos biológicos naturais dois dos casos que inspiraram dois dos mais bem-sucedidos modelos computadorizados de fractais. (Foto: S.T.) [Fern and broccoli romanesco: natural biological objects that inspired two of the most successful computer fractal models (Photo: S.T.)]

Relações entre ritmos e periodicidades fractais, padronagens de ramificação e geração de formas autossemelhantes
[Relationships among rhythms and fractal periodicities, branching patterns and generated self-similar shapes]

As imagens dos fractais estão por toda parte na cultura por metalinguagem (MANDELBROT, 2004), como no reflexo infinitamente profundo de uma pessoa entre dois espelhos. Esta ferramenta de repetição de imagens em jogos de espelhos tem sido usada por diversos artistas na arte tridimensional há bastante tempo (FLAKE, 2000) e também aparece em três das minhas instalações experimentais (Poética d[a]tração, Waterfront e Floating Transgenesis). Na arte bidimensional, a maioria dos artistas utilizou da complexidade da geometria fractal para a criação de imagens alegóricas e inusitadas (BRIGGS, 1992).

"Relações de figura-e-fundo: viajo em meio a nuvens que, há um par de décadas, acreditava serem feitas de algodão açucarado, e pela janelinha, visualizo arquipélagos circundados por água cristalina. Percebo que nas relações de figura-e-fundo, as ilhotas verde-bandeira se configuram também como fundo para as ramificadas estruturas aquáticas verde-esmeralda, que parecem saltar graficamente de um quadro em que se posicionavam como sulcos em rede. Dou conta de que tantas vezes as estruturas de ramificações estão presentes no cotidiano, de uma forma camuflada, que apenas o olhar atento pode ressaltá-las para campo principal. Talvez, numa arquitetura ramificada, uma das aplicações projetuais possa ser também esta, ou seja, de dar suporte a todo o resto passando-se despercebida em primeiro plano." (S.T.)

Uma década depois que Mandelbrot publicou suas especulações fisiológicas, alguns biólogos teóricos começaram a verificar que a organização fractal controlava estruturas em todo o corpo (MANDELBROT, 1991). Daí surgiu meu interesse nas relações análogas entre o corpo humano e outras formas naturais, como folhas de plantas e vasos sanguíneos humanos.

The images of fractals are everywhere in culture via meta-language (MANDELBROT, 2004) as in the infinitely deep as reflection of a person between two mirrors. This tool of repetition of images in sets of mirrors has been used by many artists in three-dimensional art for quite some time (FLAKE, 2000) and it is also seen in three of my experimental installations (Poética d[a]tração, Waterfront e Floating Transgenesis). In the two-dimensional art, most artists employ the complexity of fractal geometry to create images that are both allegorical and unusual (BRIGGS, 1992).

"Relationships of figure-and-background: I travel amid the clouds, a few of decades ago I believed they were made of cotton sugar, and the little window, visualize islands surrounded by crystal clear water. Realize that the relations of figure-and-ground, the islets green flag to configure also as background for the branched structures Emerald-green water, that seem to jump graphically into a framework in which grooves positioned as networking. I realize that many times branching structures are present in my everyday life in a camouflaged way so that only the watchful eye may underscore them. Perhaps in a branched architecture, a project application might also be this one, i.e. to support the rest by passing unnoticed in the foreground." (S.T.)

A decade after Mandelbrot published his physiological speculations some theoretical biologists began to see that the fractal organization controlling structures throughout the body (Mandelbrot, 1991). From there my interest in the analogous relations between the body and other natural forms such as leaves of plants and human blood vessels was engendered.

A partir daí, decidi tratar dessas relações em práticas estéticas experimentais com investigação sensorial e interatividade com o usuário do espaço expositivo, tipicamente inseridas no contexto da contemporaneidade (BISHOP, 2005; DEWEY, 2008).

Assim como a curva de Koch, conhecida por modelar matematicamente o floco-de-neve e comprimir uma linha de extensão infinita em uma pequena área (GRAVNER & GRIFFEATH, 2009), o sistema circulatório adapta uma enorme área de superfície num volume limitado (STROGATZ, 2008). Por uma questão de necessidade fisiológica, os vasos sanguíneos têm de aparentemente desempenhar certa mágica dimensional.

O sistema arterial forma outro tipo de contínuo, ramificando-se desde a artéria aorta, oriunda do coração, e tornando-se tão estreito que as hemácias são forçadas a deslizar em fila indiana em seu último elo, os capilares (BERGAN, 2007), e isto confirma que a natureza destas ramificações é estatisticamente fractal.

A estrutura fractal que a natureza cria opera com tal eficiência que, na maioria dos tecidos, nenhuma célula está a uma distância de mais de três ou quatro células de um vaso sanguíneo (GLEICK, 2008). Algo similar ocorre com pulmões humanos, que concentram uma superfície maior do que uma quadra de tênis (GLEICK, 2008).

A descrição “exponencial” clássica das ramificações dos brônquios estava errada: uma descrição fractal se enquadrava melhor nos dados (GLEICK, 2008). Assim também, o sistema coletor urinário acabou revelando-se fractal, assim como o canal biliar no fígado e a rede de fibras especiais do coração, que transmitem os pulsos de corrente aos músculos cardíacos (LOSA et al., 2002).

A importância da estrutura fractal é tal que cientistas afirmarem que uma possível chave para compreender o ritmo cardíaco é a organização fractal desta rede, organizada para ser idêntica a si mesma em escalas cada vez menores (PEITGEN, 1986). Então como a natureza conseguiu produzir essa arquitetura tão complexa?

From this point on, I decided to cope with those relations through my engaging in experimental aesthetic practices addressed in sensory research with and interactivity with the user of the exhibition space, typically of contemporaneity context (BISHOP, 2005; DEWEY, 2008).

Like the Koch curve, known for mathematically modeling the snow-flake and compressing a line of infinite extent in a small area (GRAVNER & GRIFFEATH, 2009), the circulatory system adapts a huge surface area in a limited volume (STROGATZ, 2008). As a matter of physiological need, blood vessels apparently have to play some dimensional magic.

The arterial system forms another type of continuous, branching off from the aorta, coming from the heart, and becoming so narrow that red blood cells are forced to slide in single file on the last link, the capillaries (BERGAN, 2007), and that confirms that the nature of these branches is statistically fractal.

The envisioned fractal structure of the nature is such that it operates with such efficiency that in most tissues no cell is at a distance of three or four cells from a blood vessel (GLEICK, 2008). Something similar occurs with human lungs, which concentrate a surface larger than a tennis court (GLEICK, 2008).

The classical "exponential" description of the bronchi branches was wrong: a fractal description best fits to the data (GLEICK, 2008). The urinary collecting system ended up proved to be fractal as well, as the bile duct in the liver and the network of special fibers of the heart, which transmit pulses of current to the heart muscles (LOSA et al., 2002).

The importance of fractal structure is reflected by scientists claiming that it is a possible key to understanding the heart rate is the fractal organization of this network, organized to be identical to itself at smaller and smaller scales (PEITGEN, 1986). So how could nature produce such complex architecture?

A tese de Mandelbrot é de que as complicações só existem no contexto da geometria euclidiana tradicional (MANDELBROT, 2004). Como fractais, as estruturas ramificadas podem ser descritas com razoável simplicidade, com apenas algumas informações.

Talvez as transformações simples que dão origem às formas imaginadas por Koch, Peano e Sierpinski tenham seus análogos nas instruções codificadas dos genes de um organismo. O DNA certamente não pode especificar o vasto número de brônquios, bronquíolos e alvéolos, ou a estrutura espacial específica da sua árvore resultante, mas pode especificar um processo de repetição da bifurcação e do desenvolvimento.

"No meu ponto de vista, o principal antecessor da teoria dos fractais seria o matemático George Cantor. Em meio a comportamentos estranhos em razão de sua instabilidade bipolar, Cantor concebeu a teoria em que por generatividade (antes da criação do computador), uma linha se transformaria num conjunto infinito de pontos, em que a soma das partes ultrapassa o número representado pelo todo." (S.T.)

"A curva de Koch nos mínimos detalhes de escala na 'Spiral Jet': quando falo de perímetro infinito em área limitada ou sobre área infinita em volume definido na teoria dos fractais, percebo olhares atentos e desconfiados em minha direção. Mas de fato a curva, estrela ou ilha de Koch, descritas com maestria pelo modelo do floco de neve estudado pelo matemático Von Koch, e publicado em 1904 originalmente em francês sob o título: 'Sur une courbe continue sans tangente, obtenue par une construction géométrique élémentaire'; poderia ser visualizada a cada vôo sobre uma formação geográfica isolada como, por exemplo, a intervenção artística 'Spiral Jet' (quicá Robert Smithson percebera este fenômeno em seus vôos sobre o mar). Posso delimitar a área de uma região por aproximação numérica de cada pedacinho que constitua seu perímetro, mas dou conta de que seria impossível somar o perímetro de cada grão de areia presente naquela região por esta soma tender ao infinito." (S.T.)

Mandelbrot's thesis is that complications exist only in the context of traditional Euclidean geometry (MANDELBROT, 2004). Like fractals, branching structures can be described with reasonable simplicity, with only some information.

Perhaps the simple transformations that give rise to shapes imagined by Koch, Peano and Sierpinski have their analogues in the encoded genes instructions of an organism. The DNA certainly cannot specify the vast number of bronchi, bronchioles and alveoli or the specific spatial structure of its resulting tree, but it can specify a process of repeating the bifurcation and development.

"From my point of view, the main forerunner of the theory of fractals is the mathematician George Cantor. Amid strange behavior due to his bipolar mental instability, Cantor conceived the theory that by generativity (before the creation of the computer), a line is transformed in an infinite set of points, wherein the sum of the parts exceeds the number represented by the whole." (S.T.)

"The Koch curve in the minimum scale details in the 'Spiral Jet': when I talk about infinite perimeter in some area or about limited area defined in infinite volume in the theory of fractals, I realize watchful eyes and suspicious towards me. But in fact the Koch curve, star and island, masterfully described by the mathematician Von Koch (snowflake model), and originally published in 1904 in French under the title 'Sur une courbe continues sans tangent, obtenue par une construction géométrique Élémentaire', could be viewed on each flight on the geographic area of the artistic intervention 'Spiral Jet' (perhaps Robert Smithson noticed this phenomenon in his fights over the sea). I can define the area of a region by numerical approximation of each piece constituting the perimeter, but I realize that it would be impossible to sum up the perimeter of each grain of sand present in that region because this sum tends to infinity." (S.T.)

Em analogia com a definição tradicional de dimensão, a dimensão fractal da curva de Koch pode ser definida assim: $3^{\text{dimensão}} = 4$, que produz $D = 1,26$ (STEWART, 2002). Na curva de Koch, em cada nível, os segmentos de linha são um terço do comprimento do nível anterior, bem como a estrutura de cada nível é composta de quatro cópias da estrutura ao nível anterior (LIEBOVITCH, 1998).

De maneira mais geral, se cada um dos níveis é escalonado por um fator de x do nível anterior e é constituído por N cópias do nível anterior, então $x^{\text{dimensão}} = N$ (MITCHELL, 2009). Isso significa que esta seria uma lei de potência, com D (de dimensão) como o expoente. Isto ilustra a íntima relação entre as leis de potência e fractais.

"Semelhanças estatísticas: ao tratar de objetos naturais, não se pode falar em fiel reprodução do desenho em escalas diferente e muito menos em semelhança em escalas infinitas (Mandelbrot abordara o tema ao falar em análise estatística da média das semelhanças), assim penso que fractais possam ser definidos como um conjunto em que suas partes se assemelham ao todo em diversas escalas e para o qual a dimensão de Hausdorff-Besicovitch (que pode ser um número racional) excede a dimensão topológica, que é sempre inteira. Da mesma forma que gêmeos univitelinos apresentam pequenas diferenças que os distinguem, cada folha de uma mesma árvore, embora possuam o mesmo DNA, ao longo do tempo têm de enfrentar desafios de diversas ordens que alteram delicadamente seus padrões de crescimento. Isso significa: estrutura fractal é uma maneira de gerar uma distribuição de lei de potência e se algo segue uma distribuição de lei de potência, pode haver algo sobre o sistema subjacente que é autossemelhante ou 'semelhante a fractal'." (S.T.)

Distribuições de lei de potência são fractais, elas são autossemelhantes em todas as escalas de ampliação, e, na verdade, o expoente de uma lei de potência dá a dimensão do fractal correspondente, onde a dimensão quantifica precisamente como a distribuição de autossemelhante escala com o nível de ampliação (PEITGEN & SAUPE, 2011).

In analogy with the traditional definition of dimension, the fractal dimension of the Koch curve can be defined like this: $3^{\text{dimension}} = 4$, which results $D = 1.26$ (STEWART, 2002). In the Koch curve, at each level, the line segments are one-third the length of the previous level and the structure at each level is made up of four copies of the structure at the previous level (LIEBOVITCH, 1998).

More generally, if each level is scaled by a factor of x from the previous level and is made up of N copies of the previous level, then $x^{\text{dimension}} = N$ (MITCHELL, 2009). It means this would be a power law, with D (from dimension) as the exponent. This illustrates the intimate relationship between power laws and fractals.

"Statistical similarities: when dealing with natural objects, one cannot speak of faithfully reproduction of the design to different scales and much less of similarity of endless scales (Mandelbrot addressed the topic while talking on statistical analysis of the average similarities), so I think that fractals might be set as a range in which parts resemble the whole in several scales and for which the Hausdorff-Besicovitch dimension (which may be a rational number) exceeds the topological dimension, which is always full. Like monozygotic twins that have small differences that distinguish them, each sheet of the same tree, although they have the same DNA, over time face several challenges in order to delicately alter their growth patterns. That means fractal structure is one way to generate a distribution of power law and if something follows a power law distribution, there may be something about the underlying system that is self-similar or 'fractal-like'" (S.T.)

Power law distributions are fractals—they are self-similar at all scales of magnification, and, actually, a power-law's exponent gives the dimension of the corresponding fractal, where the dimension quantifies precisely how the distribution's self-similarity scales with the level of magnification (PEITGEN & SAUPE, 2011).

Assim, afirma-se que a "estrutura fractal é uma forma de gerar uma distribuição de lei de potência e se algo segue uma distribuição de lei de potência, pode haver algo sobre o sistema subjacente que é 'parecido com fractal' ou autossemelhante". (MITCHELL, 2009).

So it is stated that the "fractal structure is one way to generate a power-law distribution and if something follows a power-law distribution, there might be something about the underlying system that is 'fractal-like' or self-similar". (MITCHELL, 2009).

Modelagem da Curva de Koch, adaptada do tutor Micasise Serrão, Universidade Federal do Pará. [Modeling of the Koch curve, adapted from the tutor Micasise Serrão, Federal University of Pará].

Ilustração de como a percepção das relações entre objetos no espaço se altera de acordo com a distância em que se está das suas rugosidades e fragmentações. Imagem adaptada de: Land Art: a 2011 Calendar, uma publicação da Tate de Londres, fotografia de Robert Smithson. [Illustration of how perception of relationships among objects in space changes according to the distance from their roughness and fragmentation. Image adapted from: Land Art: a 2011 Calendar, Tate publication, photo by Robert Smithson.]

CAPÍTULO [CHAPTER] 3

Panorama geral dos sistemas ramificados [Overview of the branching systems]

São esperados questionamentos sobre as razões pelas quais há um capítulo com abordagem exclusivamente científica, em meio ao contexto da tese, cujo cerne está na pesquisa estrutural biomimética via concepção artística. O fato é que frequentemente por falta de rigor teórico em assunto específico de quem almeja realizar trabalhos transdisciplinares, surgem imprecisões conceituais na transposição subjetiva de idéias das ciências para as artes e este capítulo visa evitar isso.

Estudos apontam claras advertências das maneiras muitas vezes tortuosas adotadas pela natureza em produzir o que às vezes parecem ser padrões geométricos simples.

A morfogênese de ramificação produz estruturas em escalas que variam de micrômetros, tendo, como exemplo, os processos de uma única célula (BOURGINE & LESNE, 2011), passando por centímetros, como a ramificação epitélies de órgãos de mamíferos, até dezenas de metros, que ocorre quase que só em árvores (PRESTON, 2008).

Alguns animais também têm um plano corporal ramificado, mas, na maioria dos filos, as ramificações estão escondidas na anatomia interna e não é óbvia a visualização a partir do lado externo. Seres humanos são exemplos de tais criaturas, tendo seu interior crivado de redes interligadas por tubos ramificados endoteliais e epiteliais (DAVIES, 2006).

A ramificação geralmente aparece quando há uma razão para maximizar a área total de contato entre uma estrutura e o ambiente que a rodeia, particularmente quando há também uma razão de acondicionar esta área de contato num pequeno volume (DAVIES, 2006). Desta maneira, um organismo ganha alguma vantagem seletiva funcional.

Os sistemas sanguíneos e linfáticos são especializados na troca de substâncias entre os compartimentos corporais através da circulação para assegurar que todo o tecido esteja próximo a um vaso sanguíneo (STROGATZ, 2008), através de ramificações cada vez mais diminutas como os capilares.

Questions are expected about the reasons why there is a chapter of exclusively scientific approach amid the context of the thesis, whose heart is in the biomimicry structural research via artistic conception. The fact is that often for lack of theoretical rigor in a specific subject from who aims to perform transdisciplinary work, conceptual mistakes might appear in the subjective ideas translation and this chapter aims to avoid that.

Studies show clear warnings of the often circuitous ways that nature adopts to produce what sometimes seem to be geometrically simple patterns.

Branching morphogenesis produces structures on scales ranging from micrometers, having as examples, the processes of a single cell (BOURGINE & LESNE, 2011), through centimeters such as branching epithelia in mammalian organs, to tens of meters, as mainly happens only to trees (PRESTON, 2008).

Some animals also have a branched body plan but, in most phyla, branching is hidden away in the internal anatomy and the visualization is not obvious. Humans are examples of such creatures, having unbranched exteriors but having insides riddled with interlinked networks of branched endothelial and epithelial tubes (DAVIES, 2006).

Branching usually arises where there is a reason to maximize the total area of contact between a structure and the environment that surrounds it, particularly where there is also a reason to pack this area of contact in a small volume (DAVIES, 2006). This way, an organism gains some functional selective advantage.

The blood and lymphatic systems are specialized for the exchange of substances between body compartments by the circulation to ensure that every tissue is close to a blood vessel (STROGATZ, 2004), through smaller and smaller branching such as the capillaries.

O meio para a troca de substância física não é o único sistema espalhado por todo o corpo. Há também a necessidade de distribuição de informação.

Uma parte disso é conseguida usando troca de moléculas sinalizadoras (hormônios) entre os tecidos e a circulação geral, mas muito é conseguido pela ligação de elementos de tecidos específicos do sistema nervoso (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

Em estruturas corporais simples, tais como os cnidários (anêmonas, medusas etc.), isto é obtido por uma rede neural distribuída (MEINHARD, 2009). Em animais mais complexos isso é executado pela transmissão neuronal periférica a partir de uma unidade de processamento central da informação: um gânglio ou um cérebro.

Redes como pulmões, retinas e as árvores crescem por meio da combinação do acaso com a necessidade (LONG, 2004): a forma genérica da estrutura, por exemplo, em termos da dimensão fractal e dos ângulos médios de junções, não varia significativamente de um processo para outro, mas os detalhes são sempre diferentes (RINALDO et al., 2006).

Há indícios de que a morfogênese de ramificação seja, portanto, um mecanismo importante e abrangente de desenvolvimento de formas e pode ser um caminho eventual para a concepção de novas formas e estruturas nas artes visuais, no design e na arquitetura.

Nas próximas páginas há um apanhado de sistemas naturais em que ramificações ocorrem. Estes sistemas foram escolhidos por sua pertinência em relação aos meus experimentos em arte-instalação, para que eles pudessem fornecer o embasamento teórico necessário para a abstração poética posterior durante o processo de criação estético-sensorial por biomimetismo.

The means for physical substance exchange is not the only system that has to spread throughout the body; there is also the need for distribution of information.

Some of this is achieved using exchange of signaling molecules (hormones) between tissues and the general circulation but much of it is achieved by connecting specific tissue elements of the nervous system (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

In simple body structures such as cnidarians (sea anemones, jellyfish etc.), this is achieved by a distributed nerve net (MEINHARD, 2009). In more complex animals it is done by the periferic neuronal transmission from a central information processing unit: a ganglion or a brain.

Networks like lungs, retina and trees have to be grown via combination of chance and necessity (LONG, 2004): the generic form of the structure, for example in terms of the fractal dimension and the average angles of junctions, does not vary significantly from one case to the next, but the details are always different (RINALDO et al., 2006).

There is evidence that branching morphogenesis is therefore an important and comprehensive development mechanism of shapes and may be a possible way to design new forms and structures in the visual arts, design and architecture.

On the following pages there is a summary of natural systems where branching occurs. These systems were chosen for their relevance to my experiments in installation art, so that they could give the necessary theoretical foundation for the subsequent poetic abstraction during the aesthetic-sensorial creation process by biomimicry.

Ramificações nas plantas e fungos [Branchings in plants and funghi]

O desenvolvimento de estruturas repetidamente ramificadas é um mecanismo importante da morfogênese em uma enorme gama de filos e escalas (VOGEL, 2003). Em alguns organismos, tais como árvores, as formas ramificadas formam a estrutura completa do corpo e constitui seu atributo morfológico mais aparente.

De fato, o detentor do recorde atual de maior organismo do mundo é um fungo de floresta, *Armillaria ostoyae*, que tem mais de 2000 anos e estende-se cerca de 10 quilômetros quadrados pela floresta, e que é composto quase inteiramente de uma enorme rede de hifas ramificadas (DAVIES, 2006).

A maioria das plantas e fungos multicelulares compartilha esta propriedade, embora, no caso de fungos, as estruturas ramificadas sejam muito finas e, a olho nu, não sejam tão claras como estruturas reprodutivas não-ramificadas, tais como os cogumelos (FOSTER, 1974; VOGEL, 2003).

Para os sistemas das mudas de plantas, o objetivo é o de maximizar a área para a captura de luz e de troca de gás: enquanto que as grandes áreas de absorção podem ser produzidas pelo crescimento de uma única folha enorme, limitações mecânicas (gravidade, danos provocados pelo vento etc.) (BALL, 2009) podem limitar esta estratégia para plantas muito pequenas ou para aquelas, por exemplo, que flutuam na água; daí resulta que as grandes plantas autoportantes são forçadas a usar estruturas ramificadas (GIFFORD & FOSTER, 1989).

Da mesma forma, os sistemas de raízes das plantas têm a necessidade de conseguir grandes áreas de contato entre si e do solo, uma fonte importante de água e minerais (NIKLAS, 2006). A produção dos ramos finos tem a vantagem adicional de que eles podem penetrar entre as partículas de solo e, assim, expandir-se para quase todo ambiente "sólido" (DAVIES, 2006).

The development of repeatedly-branched structures is an important mechanism of morphogenesis across a huge range of phyla and scales (VOGEL, 2003). In some organisms, such as trees, branching shapes the complete body structure and is their clearest morphological attribute.

Indeed, the current record holder for the world's largest organism is a woodland fungus, *Armillaria ostoyae*, which is over 2000 years old and spans about 10 square kilometers of forest; and that is composed almost entirely of a huge network of branched hyphae (DAVIES, 2006).

Most plants and multicellular fungi share this property, although in the case of fungi the branched structures are very fine and, to the naked eye, are not as obvious as unbranched reproductive structures such as mushrooms (FOSTER, 1974; VOGEL, 2003).

For plant shoot systems, the aim is to maximize the area for light capture and gas exchange: while large absorption areas can be produced by the growth of a single enormous leaf. Mechanical constraints (gravity, wind damage etc.) (BALL, 2009) may limit this strategy to very small plants or those supported by, for example, floating on water; from this reason it follows that self-supporting large plants are forced to use branched structures (GIFFORD & FOSTER, 1989).

Similarly, plant root systems need to achieve large areas of contact between themselves and the soil, which is an important source of water and minerals (NIKLAS, 2006). The production of fine branches adds the advantage that they can penetrate between particles of soil and thus expand into an almost "solid" environment (DAVIES, 2006).

Ramificações no sistema respiratório [Branchings in the respiratory system]

Em tecidos de origem animal, a ramificação é normalmente usada para acondicionar uma grande área da superfície, para assim agir na troca entre o ambiente externo e os tecidos internos, ou entre dois compartimentos internos num volume pequeno.

As estruturas ramificadas de pulmões de mamíferos são um exemplo disso, e, como na maioria dos sistemas, os tubos de ramificação não são as principais superfícies onde as trocas de substância ocorrem, existindo para isso os alvéolos. No desenvolvimento dessas estruturas respiratórias, um controle genético complexo foi sobreposto à interatividade simples de um processo de autossimilaridade que poderia produzir a geometria fractal do órgão (GOODWIN & KAUFFMAN, 1990).

A troca gasosa tem lugar em sacos de ar especializados, os alvéolos, que aparecem nas extremidades dos ramos mais finos (KLOWDEN, 2007: 442). O sistema de ramificação em si é um meio de conexão entre os alvéolos ao mundo exterior (KAUCZOR, 2009), ao mesmo tempo minimizando a distância total¹ (HACKER & TUBBS, 2005).

Os bronquíolos se ramificam a partir de estruturas maiores como brônquios e a traqueia, apresentando tamanhos milimétricos assim como as ramificações capilares das artérias ou galhos de uma árvore. Isso aumenta a área de superfície para a troca de gases em insetos (KLOWDEN, 2007: 440).

O mesmo acontece nos mamíferos. Em um pulmão de rato, por exemplo, pode haver seis a oito ordens de ramificação. Este número aumenta para vinte em um pulmão humano (KAUCZOR, 2009), levando à formação de 17 milhões de ramificações (HACKER & TUBBS, 2005), demarcando a eficiência de compactação das estruturas ramificadas.

In animal tissues, branching is normally used to pack a large surface area for exchange between the external environment and internal tissues, or between two internal compartments into a small volume.

The branched structures of mammalian lungs are an example of that and, as in most systems, branching tubes are not the main surfaces where substance exchange takes place: that is why there are the alveoli. In the development of respiratory structures, a complex genetic control has been superimposed on the simple interactivity of a self-similarity process that could produce the fractal geometry of the organ (GOODWIN & KAUFFMAN, 1990).

Gas exchange takes place in specialized air sacs, alveoli which appear at the ends of the finest branches (KLOWDEN, 2007: 442). The branching system itself is a means of connecting many alveoli to the outside world (KAUCZOR, 2009), while minimizing the total distance² (HACKER & TUBBS, 2005).

Bronchiole branch from the larger structures such as bronchi and the tracheae, presenting milimetric sizes much like capillaries branch from arteries, or twigs from branches of a tree. This increases the surface area for gas exchange in insects (KLOWDEN, 2007: 440).

The same happens in mammals. In a mouse lung, for example, there may be six to eight orders of branching. This number rises to twenty in a human lung leading to the formation of 17 million branches marking the compression efficiency of branched structures (HACKER & TUBBS, 2005), demarcating the compression efficiency of branched structures.

¹ Uma concepção alternativa, ligando todos os alvéolos a um único tubo de comprimento, sofreria a desvantagem de que os alvéolos mais distantes seriam capazes de trocar gases com o exterior apenas muito ineficientemente.

² An alternative design, connecting all of the alveoli to a single long tube, would suffer the disadvantage that the most distant alveoli would be able to exchange gases with the outside only very inefficiency.

A imagem deixa clara a grande semelhança destas estruturas alveolares do pulmão com algumas espécies de árvores. Fonte: Laboratório de imagem da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2009. [The image clearly shows the great similarity of these lung alveolar structures with some tree species. Source: Image Laboratory of the School of Medicine, University of São Paulo, 2009.]

Ramificações no sistema circulatório [Branchings in the circulatory system]

O sistema circulatório dos vertebrados consiste em sangue, um tecido conjuntivo fluido, contido integralmente em um sistema vascular circular (ou rede de vasos sanguíneos) que está ligado a uma bomba, o coração (VOGEL, 2003). O coração e seu sistema de transporte de sangue são compostos por dois circuitos separados: arterial e venoso (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Em outras palavras, as ramificações mais finas se ligam com outros ramos um pouco menos finos de um sistema venoso, recolhendo sangue e drenando-o para vasos de calibre cada vez maior para que assim possa retorná-lo para o coração para ser mais uma vez redistribuído aos tecidos (BERGAN, 2007).

O átrio e ventrículo cardíaco direito recebem o sangue que retorna para o coração a partir do corpo e bombeia para os pulmões (circuito pulmonar) (KAUCZOR, 2009). Este circuito serve para trocar o dióxido de carbono no sangue com o oxigênio a partir dos alvéolos pulmonares. O circuito sistêmico é fornecido pelo lado esquerdo do coração que distribui o sangue oxigenado a todo o corpo (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Em ambos os circuitos, o sangue viaja por meio de uma série de vasos sanguíneos. O sangue é bombeado para fora do coração através a artéria aorta e na sequência em grandes artérias que se ramificam em artérias menores, arteríolas, então seguido por complexas redes de minúsculos capilares onde ocorre absorção de nutrientes e excreção de metabólitos pelo tecido (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

O dióxido de carbono difunde para fora dos capilares e para dentro do ar do pulmão quando o oxigênio sofre difusão em sentido contrário e liga-se às moléculas de hemoglobina acondicionadas dentro dos eritrócitos³ (BERGAN, 2007).

In the case of vertebrate blood systems, the circulatory system consists of the blood, a fluid connective tissue, contained completely within a circular vascular system (or network of blood vessels) that is connected to a pump, the heart (VOGEL, 2003). The heart and its system of delivering blood are composed of two separate circuits: arterial and venous (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

In other words, the finest branches connect with less fine branches of a venous system, collecting blood and draining it to larger and larger-bore vessels to return it to the heart, to be redistributed once more to the tissues (BERGAN, 2007).

The heart right atrium and ventricle receive blood returning to the heart from the body and pump it to the lungs (lung circuit) (KAUCZOR, 2009). This circuit serves to exchange carbon dioxide in the blood with oxygen from the lung alveoli. The systemic circuit is supplied by the left side of the heart which delivers the oxygenated blood to the entire body (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

In both circuits, the blood travels through a series of blood vessels. Blood is pumped out of the heart via the aorta and just after that into large arteries that branch into smaller arteries, then arterioles, followed by intricate networks of tiny capillaries where nutrient absorption and metabolites excretion by the tissue take place (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

The carbon dioxide diffuses out of the capillary and into the air within the lung while oxygen suffers diffusion in the opposite direction and binds to the hemoglobin molecules packed within the erythrocyte⁶ (BERGAN, 2007).

³ Hemoglobina é a proteína que ajuda as células vermelhas do sangue transportar oxigênio.

⁶ Hemoglobin is the protein that helps red blood cells carry oxygen.

Mais uma vez, vênulas pulmonares e em seguida, veias sucessivamente maiores recolhem o sangue que sai de seu leito capilar até chegar ao átrio e ao ventrículo esquerdo, para o sangue oxigenado ser reenviado ao organismo (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Artérias e veias têm, em média, diâmetros muito maiores do que os capilares⁴ (BERGAN, 2007). No entanto, a área da seção transversal total (o número de vasos e os seus diâmetros) dos capilares é muito maior do que das artérias ou veias (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Nos capilares, os materiais são trocados por meio do processo de difusão por causa da extrema finura de suas paredes (camada única de célula endotelial e membrana basal) e por haver fluxo lento em razão de sucessivas ramificações e aumento da resistência vascular por diminuição do calibre do vaso (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Difusão não é o único processo envolvido no movimento de materiais através da parede capilar (BERGAN, 2007). As diferenças de pressão entre o sangue e o compartimento intersticial (o fluido que envolve as células de tecidos) promove a circulação de fluido entre as junções celulares endoteliais nos tecidos, um processo conhecido como filtração (BERGAN, 2007).

“Como a pressão arterial diminui ao longo do comprimento do tubo capilar, a taxa de filtração diminui também. A filtração é mais elevada no final arterial do capilar e mais baixa no final venoso” (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

O fluido move-se através de uma forma especializada de difusão conhecida como osmose, através das membranas para baixo uma gradiente osmótica ou a partir de uma região de baixa concentração de soluto para uma concentração mais elevada de soluto (BERGAN, 2007).

Once again, pulmonary venules and then successively larger veins collect the blood as it leaves its capillary bed until it reaches the left atrium and ventricle, so that the oxygenated blood can be sent to the organism (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Arteries and veins have, on average, much larger diameters than capillaries (BERGAN, 2007). However, the total cross-sectional area (number of vessels and their diameters) of capillaries is much greater than that of the arteries or veins⁷ (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

In the capillaries, materials are exchanged through the process of diffusion, as their walls are extremely fine (one layer only of endothelial cell and basal membrane) and also because there is slow fluid flow due to successive branching and increasing in vascular resistance by decreasing vessel size (WHITTEMORE & COOLEY, 2009).

Diffusion is not the only process involved in the movement of materials across the capillary wall (BERGAN, 2007). Pressure differences between the blood and the interstitial compartment (the fluid surrounding the tissue cells) promote the movement of fluid between the endothelial cell junctions into the tissues, a process known as filtration (BERGAN, 2007).

“Because blood pressure decreases along the length of the capillary, the rate of filtration decreases as well. Filtration is highest at the arterial end of the capillary and lowest at the venous end.” (WHITTEMORE & COOLEY, 2009)

Fluid moves, via a specialized form of diffusion known as osmosis, across membranes down an osmotic gradient or from a region of low solute concentration to one of higher solute concentration (BERGAN, 2007).

⁴ O mesmo acontece com as árvores e também pude constatar ao longo do processo de criação dos aparatos mecânicos do meu experimento “Floating Transgenesis”.

⁷ The same happens with the trees and I could also see it through the process of creating mechanical devices in my experiment “Floating Transgenesis.”

As paredes arteriais são espessas, pois elas apresentam uma camada de musculatura lisa que as veias não possuem. Isso ajuda a suportar as enormes mudanças na pressão sanguínea que acompanham as ações do coração. Estes vasos são projetados para transportar eficientemente o sangue para fora do coração (WHITTEMORE & COOLEY, 2009). Em geral, os vasos diminuem na proporção em que o músculo da parede arterial diminui à medida que as artérias tornam-se menores (BERGAN, 2007).

Além disso, o processo pelo qual os vasos sanguíneos crescem, proliferam e desenvolvem ramificações (WHITTEMORE & COOLEY, 2009) é complicado e nem sempre gera uma estrutura divergente aleatoriamente ramificada, pois muitas vezes os vasos estão interligados em formas mais complexas (STEVENS, 1974).

“A forma fractal ramificada da rede emerge no passo seguinte, que é a angiogênese” (BALL, 2009). Os tecidos que os fornecimentos de rede vasculares com fluidos vitais começam progressivamente maiores à medida que o organismo cresce: os canais são redes de transporte em uma paisagem em expansão (BERGAN, 2007). *“Se qualquer parte da paisagem torna-se muito distante de uma dessas rotas de abastecimento, corre o risco de esgotar-se no suporte de ingredientes da vida como oxigênio ou nutrientes, e, daí, uma nova rota se faz necessária”* (BALL, 2009), o que permite fazer analogia às rotas urbanísticas na região amazônica.

Por exemplo, os vasos sanguíneos podem às vezes se cruzar e se juntar para formar circuitos fechados: eles não necessariamente se evitam em redes hidrográficas⁵ (BALL, 2011). Isto é particularmente evidente nas redes de veias em folhas e de plantas, que crescem por meio de processos semelhantes à angiogênese (WHITTEMORE & COOLEY, 2009). A religação entre dois ramos de um sistema vascular é chamada de anastomose, e isso significa que existe mais do que uma via possível para ir de um ponto para outro na rede (BERGAN, 2007).

⁵ Geralmente é uma propriedade da DLA também.

⁸ It is generally a property of DLA too.

Arterial walls are thick because they present a layer of smooth muscle that the veins do not have. This helps supporting the enormous changes in blood pressure that accompany the actions of the heart. These vessels are designed for efficiently transporting blood away from the heart (WHITTEMORE & COOLEY, 2009). Overall, the diameters of the vessels decrease in proportion of the muscle of the arterial wall decreases as the arteries become smaller (BERGAN, 2007).

Moreover, the process by which growing blood vessels proliferate and develop branches (WHITTEMORE & COOLEY, 2009) is complicated and does not always generate a diverging, randomly branched structure because often the vessels are interconnected in more complex ways (STEVENS, 1974).

“The fractal, branched shape of the network emerges in the next step, which is angiogenesis” (BALL, 2009). The tissues that the vascular network supplies with vital fluids get steadily bigger as the organism grows: the channels are transport networks in an expanding landscape (BERGAN, 2007). *“If any part of the landscape becomes too distant from one of these supply routes, it risks becoming depleted in life-sustaining ingredients like oxygen or nutrients, and a new route is needed”* (BALL, 2009), that allows to make analogies to urban routes in the Amazon region.

For example, blood vessels may sometimes intersect and join to form closed loops: they do not necessarily avoid each other in river networks⁸ (BALL, 2011). This is particularly evident in the vein networks of leaves and plants, which grow via processes similar to angiogenesis (WHITTEMORE & COOLEY, 2009). The reconnection between two branches in a vascular system is called anastomosis, and it means that there is more than one possible route for getting from one point to another in the network (BERGAN, 2007).

Mas o crescimento de uma nova veia tem um custo de energia e de materiais, e não pode ser executada facilmente (tal como estradas). A forma da rede vascular deve fundamentalmente derivar de respostas às perguntas como, por exemplo, “como células sob-risco são identificadas?” e “como elas estimulam a formação de uma veia?” (BERGAN, 2007).

But growing a new vein has a cost in energy and materials, and it cannot be done easily (such as roads). The form of the vascular network must fundamentally derive from the answers to questions like “how are cells at risk identified?” and “how do they stimulate the formation of a vein?” (BERGAN, 2007).

Modelo em resina do rim de uma criança, mostrando os sistemas venoso e arterial. Foto: Manfred Kage, Institut für Fotografie Wissenschaftliche. Fonte: (PEITGEN, JURGENS & SAUPE, 1992:176).

[Cast of a child's kidney, venous and arterial system. Photo: Manfred Kage, Institut für wissenschaftliche Fotografie. Source: (PEITGEN, JURGENS & SAUPE, 1992:176).]

Ramificações nas estruturas dos neurônios [Branchings in the neurons structure]

Protegidas dentro de ossos (o crânio e a coluna vertebral), o cérebro e a medula espinhal são o núcleo central do sistema nervoso (LIGHT, 2004). Uma rede de nervos se ramifica a partir deles e age como um sistema de estradas de fibra para informação vinda do meio ambiente e partindo para músculos, glândulas e órgãos do corpo (ALLERKAMPF, 2010).

Os neurônios são células eletricamente excitáveis que são compostas de um corpo celular (conhecido como “soma”), dendritos e um axônio. No contexto do sistema nervoso, dendritos são altamente ramificados processos do corpo de célula que se destinam a receber informações e os impulsos são transportados para fora do corpo da célula por um único longo processo chamado axônio (LIGHT, 2004).

Os dendritos coletam sinais de outras células e encaminham estas informações como um sinal elétrico para o soma (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). As informações enviadas pelo neurônio são transmitidas por seu axônio. Estes são geralmente muito mais longos do que os dendritos, alguns mais do que um metro (LIGHT, 2004).

Embora a funcionalidade de um único neurônio seja relativamente simples, a interação de vários milhões de neurônios (cada centímetro cúbico do cérebro humano contém mais de 50 milhões deles) é capaz de cumprir tarefas muito complexas (ALLERKAMPF, 2010). A complexidade é causada pelo grande número de interligações, pois cada neurônio comunica com os outros milhares. Juntos, os neurônios controlam todos os aspectos da nossa percepção e atividade motora (ALLERKAMPF, 2010).

Alguns neurônios têm a capacidade de converter estímulos externos, tais como luz, calor ou som, em sinais elétricos que podem ser reconhecidos pelo cérebro. A maioria dos neurônios possui um corpo celular contendo um núcleo e algumas organelas (LIGHT, 2004).

Protected within bony encasings (the skull and the spinal column), the brain and the spinal cord are the central core of the nervous system (LIGHT, 2004). A network of nerves branches out from them and acts as a fiber highway system for information coming in from the environment and going out typically from the brain, to the muscles, glands, and body organs (ALLERKAMPF, 2010).

Neurons are electrically excitable cells that are composed of a cell body (known as “soma”), dendrites, and an axon. In the context of the nervous system, dendrites are highly branched processes of the cell body that are designed to receive information and the impulses are carried away from the cell body by a single, long process called axon (LIGHT, 2004).

The dendrites collect signals from other cells and forward these pieces of information as an electrical signal to the soma (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Information sent by the neuron is transmitted by its axon. Axons are usually much longer than the dendrites, some more than a meter (LIGHT, 2004).

Although the functionality of a single neuron is relatively simple, the interaction of several million neurons (every cubic centimeter of the human brain contains more than 50 million of them) is able to fulfill very complex tasks (ALLERKAMPF, 2010). The complexity is caused by the large number of interconnections because every neuron communicates with thousands others. Together the neurons control all aspects of our perception and motor activity (ALLERKAMPF, 2010).

Some neurons have the ability to convert external stimuli, such as light, heat, or sound, into electrical signals that can be recognized by the brain. Most neurons have a cell body, which contains a nucleus and some organelles (LIGHT, 2004).

Existem três formas básicas em que os processos de neurônios deixam o corpo da célula. Neurônios unipolares têm apenas um processo: um axônio que tem processos de terminais múltiplos. Neurônios bipolares possuem dois processos: um axônio e um dendrito, que surgem a partir de extremidades opostas do corpo da célula (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). O neurônio pseudo-unipolar (um tipo de neurônio bipolar) tem um processo fundido que se ramifica perto do soma em um axônio e um dendrito (PELCÉ, 2004). Neurônios multipolares, dos quais a célula piramidal é um exemplo, tem árvores dendríticas múltiplas (PELCÉ, 2004) e geralmente um axônio.

Geralmente, cada neurônio tem apenas um axônio, uma extensão que transporta mensagens para fora da célula. Embora o corpo de um neurônio tenha geralmente apenas 5 a 100 micrômetros de diâmetro, axônios podem variar em comprimento de 1 mm a 1 m (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Às vezes, os axônios ramificam-se em um ou mais axônios colaterais. Cada axônio pode ter várias pequenas ramificações no final que são chamadas “terminais do axônio”.

No lado oposto do corpo da célula neuronal estão extensões mais curtas (os dendritos, conforme já se definiu antes neste texto) que ramificam como árvores. Na verdade, sua disposição é referida como “árvore dendrítica”. Dendritos recebem mensagens de outros neurônios. *“Um único neurônio pode ter lugar de 1 a 20 dendritos, cada um dos quais pode ramificar muitas vezes”* (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

Espinhas dendríticas são as estruturas curtas e protuberantes que aparecem nos dendritos. Pode haver milhares de espinhas dendríticas em apenas um neurônio. Isto aumenta muito a área de superfície que a árvore dendrítica tem disponível para receber sinais de outros neurônios (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Para retransmitir mensagens, axônios de neurônios diferentes entram em contato com os dendritos, as espinhas dendríticas e o corpo celular (LIGHT & COOLEY, 2004). Juntas, estas estruturas recebem informação de 10.000 outros neurônios. Dendritos também podem se conectar e se comunicar com outro dendrito (PELCÉ, 2004).

There are three basic ways in which the processes of neurons leave the cell body. Unipolar neurons have only one process: an axon that has multiple terminal processes. Bipolar neurons have two processes: an axon and a dendrite, that arise from opposite ends of the cell body (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). The pseudo-unipolar neuron (a type of bipolar neuron) has one fused process that branches near the soma into an axon and a dendrite (PELCÉ, 2004). Multipolar neurons, of which the pyramidal cell is one example, have multiple dendritic trees (PELCÉ, 2004) and usually one axon.

Usually, each neuron has only one axon, an extension that carries messages away from the cell. Although a neuron's body is usually just 5 to 100 micrometers in diameter, axons can range in length from 1 mm to 1 m (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Sometimes axons branch into one or more collateral axons. Each axon may have several small branches at the end that are called “axon terminals”.

On the opposite side of the neuron cell body are shorter extensions (dendrites, as defined before in this text) that branch like trees. In fact, their arrangement is referred to as the “dendritic tree.” Dendrites receive messages from other neurons. *“A single neuron can have anywhere from 1 to 20 dendrites, each of which can branch many times”* (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

Dendritic spines are short, knob-like structures that appear on the dendrites. There may be thousands of dendritic spines on just one neuron. This greatly increases the surface area that the dendritic tree has available for receiving signals from other neurons (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). To relay messages, axons from different neurons contact the dendrites, the dendritic spines, and the cell body (LIGHT & COOLEY, 2004). Together, these structures receive information from 10,000 other neurons. A dendrite's canals connect to another dendrite to communicate with it (PELCÉ, 2004).

Os corpos celulares dos neurônios que recebem informações a partir dos sentidos do corpo, incluindo tato, vibração, pressão, dores, sensação de posição e consciência do movimento, “*são encontrados em órgãos sensoriais e gânglios ou agrupamentos de neurônios no tronco cerebral e perto da medula espinhal*” (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Cada neurônio gânglio da raiz dorsal da medula espinhal tem um processo axonal que entra na medula espinhal e sinapses sobre os neurônios da medula espinhal e tem também um processo dendrítico que atinge os órgãos periféricos e tecidos (PELCÉ, 2004).

“Terminações nervosas livres são encontradas na pele, na gengiva em torno dos dentes, nos músculos, nos órgãos internos, e nas membranas que cobrem os músculos, ossos, articulações, órgãos e da linha da cavidade do corpo. Dependendo de onde eles estão localizados, essas minúsculas extremidades dendríticas ramificadas podem virar estímulos mecânicos (toque, pressão, vibração, alongamento), térmico (temperatura), químicos (prostaglandinas) e dolorosos em sinais neurais”. (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009:65)

“As terminações ramificadas de um neurônio motor podem ativar até 1.000 fibras nos grandes músculos da coxa e do quadril” (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009), enquanto outro neurônio motor pode estimular a menos de 10 fibras dos músculos dos dedos, onde os movimentos mais precisos são necessários (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Uma vez que *“um neurônio motor tem de enviar sinais neurais para menos fibras nas ramificações, estes sinais podem ser mais específicos”* do que aqueles para os músculos maiores (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Uma unidade motora é constituída por um neurônio motor, seu axônio, terminações nervosas e o conjunto de fibras musculares que ele ativa (MINELLI, 2003) e as ramificações dessas fibras também terminam na formação reticular (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

The cell bodies of the neurons that receive information from the body senses—including touch, pressure, vibration, pain, sense of position, and awareness of movement—*“are found in sense organs and ganglia, or clusters of neurons, in the brainstem and near the spinal cord”* (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Each dorsal root ganglion neuron of the spinal cord has an axonal process that enters the spinal cord and synapses on spinal cord neurons, and also has a long dendritic process that reaches to the peripheral organs and tissues (PELCÉ, 2004).

“Free nerve endings are found in the skin, in the pulp around the teeth, in the muscles and internal organs, and in the membranes that cover the muscles, bones, joints, organs, and line the body cavity. Depending on where they are located, these tiny branching dendritic ends can turn mechanical (touch, pressure, vibration, and stretch), thermal (temperature), chemical (prostaglandins), and pain stimuli into neural signals”. (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009:65)

“The branched endings of a motor neuron may activate as many as 1,000 fibers in the large muscles of the thigh and hip” (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009), while another motor neuron may stimulate fewer than 10 fibers in the muscles of the fingers, where more precise movements are required (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). Since *“a motor neuron has to send neural signals to fewer fibers in the fingering branches, these signals can be more specific”* than those for bigger muscles (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009). A motor unit consists of a motor neuron, its axon and nerve endings, and the set of muscle fibers that it activates (MINELLI, 2003) and the branches of these fibers also end in the reticular formation (EVANS-MARTIN & COOLEY, 2009).

Rede ramificada na retina humana [Branched network in the human retina]

Um dos melhores subsistemas estudados é a rede de vasos sanguíneos na retina humana, que é uma rede particularmente densa de ramificação, uma vez que a retina tem exigência de oxigênio mais elevada do que qualquer tecido do corpo humano (MASTERS, 2004).

O oftalmologista Barry Masters (2004) da Universidade de Berna, na Suíça, colaborou com o físico Fereydoon Family em Atlanta, nos EUA, para calcular a dimensão fractal desta rede, e seu valor é aproximadamente 1,7 (BALL, 2009): o mesmo que é visto em grupos de partículas produzidas pela agregação de difusão-limitada, e nas rachaduras e descargas elétricas formadas nos modelos de ruptura dielétrica (SHORLING, 2000).

Estes são exemplos de processos regidos pelo chamado “crescimento Laplaciano”, em que respostas positivas amplificam pequenas colisões aleatórias na fronteira do crescimento e transformam-nas em novas ramificações (BEN-JACOB, 2004; KUMAR, 2003).

O crescimento da rede vascular da retina pode ser igualmente governado por instabilidades Laplacianas de crescimento, mas algumas alternativas devem ser consideradas também (BEN-JACOB, 2004).

A dimensão fractal é uma característica bastante ampla de uma estrutura de ramificação e, em qualquer caso, a vascularização da retina não se parece muito com um cluster DLA: é muito menos acidentada e tortuosa.

Portanto, parece não haver razão para acreditar que apenas um mecanismo possa dar origem a uma rede com uma dimensão fractal de 1,7 (MASTERS, 2004).

One of the best studied subsystems is the network of blood vessels in the human retina, which is a particularly dense-branching network, since the retina has the highest oxygen requirement of any tissue in the human body (MASTERS, 2004).

The ophthalmologist Barry Masters at the University of Bern in Switzerland has collaborated with physicist Fereydoon Family in Atlanta, USA, to calculate the fractal dimension of this network and its value is approximately 1.7 (BALL, 2009): the same as is seen in clusters of particles grown by diffusion-limited aggregation, and in cracks and electrical discharges formed in the dielectric breakdown model (SHORLING, 2000).

These are examples of processes governed by so-called “Laplacian growth”, in which positive feedbacks amplify small, random bumps at the growth front and turn them into new branches (BEN-JACOB, 2004; KUMAR, 2003).

The growth of the retinal vascular network might be similarly governed by Laplacian growth instabilities, but some alternatives should be considered as well (BEN-JACOB, 2004).

The fractal dimension is rather a broad-brush characteristic of a branching structure and, in any event, the retinal vasculature does not look much like a DLA cluster: it is far less bumpy and convoluted.

Therefore it seems there is no reason to believe that only a single mechanism can give rise to a network with a fractal dimension of 1.7 (MASTERS, 2004).

Ramificações em dendritos minerais [Branching in mineral dendrites]

Dendritos minerais parecem ter vida porque seus padrões ramificados são ecoados em todo o mundo orgânico, a partir de corais a folhas (BOHN et al., 2002) e também na estrutura brônquica do pulmão (KAUCZOR, 2009). Mas essas formações ramificadas não são as únicas para a biologia: basta pensar em redes fluviais, relâmpagos e rachaduras no piso, que são exemplos de imagens exibidas no capítulo 4.

“Gelo e muitas outras substâncias com características simétricas, flocos isolados podem se cristalizar como agulha - como saliências pontuadas por ramos regulares, como um floco de neve de único braço” (BALL, 1999).

“Estas estruturas, conhecidas como dendritos (do grego, 'árvore')” são encontrados no congelamento de metais em fusão, quando “sais se precipitam a partir de uma solução, e quando os depósitos de metal formam eletrodos carregados eletricamente, um processo conhecido como eletrodeposição e relacionado com galvanização” (BALL, 1999).

Dendritos geralmente têm uma ponta arredondada, como a proa de um barco, onde ramificações germinam e crescem no padrão de árvore (PELCÉ, 2004) e eles tipicamente aparecem *“quando o processo de solidificação ocorre rapidamente, como por exemplo, quando um metal fundido é temperado ou sub-resfriado ao ser mergulhado em ambiente frio”*.

Padrões complexos frequentemente são gerados em processos que ocorrem de forma significativa fora do equilíbrio termodinâmico, quer dizer, quando o sistema é altamente instável (BEN-JACOB & GARIK, 1990). *“Um sistema em equilíbrio não muda; um sistema fora do equilíbrio busca atingir um estado estável se deixado sozinho para fazê-lo, mas pode ser conduzido longe desta meta por um influxo constante de energia” (BALL, 2009).* Em contraste, cristais que se formam em equilíbrio (muito próximo do seu ponto de congelamento) crescem lentamente e tendem a desenvolver a formas facetadas e compactas (VELA, 2007).

Mineral dendrites seem to be alive because their branched patterns are echoed everywhere in the organic world, from corals to leaves (BOHN et al., 2002) to the bronchial structure of the lung (KAUCZOR, 2009). But such branched formations are not the only ones to biology: it is enough to think of river networks, lightning and cracks in the pavement, which are examples of images exhibited in chapter 4.

“Ice and many other substances with symmetrical, isolated flakes characteristics may crystallize as needle-like protrusions punctuated by regular branches, like a single snowflake arm” (BALL, 1999).

“These structures, known as dendrites (from the Greek for ‘tree’)” are found when molten metals freeze, when “salts precipitate out of a solution, and when metal deposits form on electrically charged electrodes, a process known as electrodeposition and related to electroplating” (BALL, 1999).

Dendrites typically have a rounded tip, like the prow of a boat, behind which side-arms sprout and grow in tree pattern (PELCÉ, 2004) and they typically appear *“when the solidification process happens rapidly, as for example when a molten metal is quenched or undercooled by being plunged into cold surroundings”*.

Complex pattern is often generated in processes that take place significantly out of thermodynamic equilibrium which is to say, when the system is highly unstable (BEN-JACOB & GARIK, 1990). *“A system in equilibrium does not change; a system out of equilibrium ‘seeks’ to attain such a stable state if left alone to do so, but can be driven away from this goal by a constant influx of energy” (BALL, 2009).* In contrast, crystals that are formed close to equilibrium (very close to freezing point) grow slowly and tend to develop compact, faceted shapes (VELA, 2007).

A convecção (o fluxo de um fluido quando aquecido por baixo) produz um estado de não-equilíbrio (BEN-JACOB & GARIK, 1990). Um líquido que é abruptamente arrefecido muito abaixo do seu ponto de congelamento é outro sistema de não-equilíbrio, sendo relativamente instável para a forma sólida do material (CROSS & HOHENBERG, 1993; FLEURY, 1997). Essa instabilidade faz a mudança acontecer rapidamente sob condições em que padrões tendem a aparecer (CROSS & HOHENBERG, 1993).

É evidente que a simples interatividade de um processo de ramificação que adequadamente representa o padrão cativante de formas dendríticas minerais é também capaz de explicar os muitos padrões encontrados em seres vivos (PELCÉ, 2004), tais como as ramificações venosas nas folhas (BOHN, 2002) ou a geometria fractal do parênquima hepático (IANNACCONE & KHOKHA, 1996).

Às vezes, os dendritos estelares têm tantas ramificações laterais que se parecem um pouco com samambaias, que são chamados “dendritos estelares samambaia”. Estes são os maiores cristais de neve, frequentemente caindo com diâmetros de 5 mm ou mais. Apesar de seu grande tamanho, estas são cristais de gelo únicos - as moléculas de água estão alinhadas de um lado para o outro. Esta é a típica neve onde os joelhos se afundam em área de esqui. Esses cristais podem ser extremamente finos e leves, de modo que fazem uma camada de neve de baixa densidade. Para se fazer uma foto deste tipo, o modo mais fácil é deixar um pêlo de animal (que tem uma camada natural de gordura) exposto ao tempo frio e seco. Fonte: escaneado de Catálogo dos Serviços de Tecnologia da Informação no Instituto de Tecnologia da Califórnia, EUA.

[Sometimes stellar crystals have so many side-branches they look a bit like ferns, so they are called “fernlike stellar dendrites”. These are the largest snow crystals, often falling with diameters of 5 mm or more. In spite of their large size, these are single crystals of ice - the water molecules are lined up from one end to the other. This is the typical snow where knees sink in ski area. These crystals can be extremely thin and light, so they make a low density snowpack. To make a photo like this, the easiest way is to let an animal fur (which has a natural layer of fat) exposed to cold, dry weather. Source: scanned from Catalog of the Information Technology Services at California Institute of Technology, USA.]

Convection (the flow of a fluid when heated from below) produces a non-equilibrium state (BEN-JACOB & GARIK, 1990). A liquid that is abruptly cooled far below its freezing point is another non-equilibrium system, being unstable relative to the solid form of the material (CROSS & HOHENBERG, 1993; FLEURY, 1997). That instability makes change happen rapidly, under conditions that patterns tend to appear (CROSS & HOHENBERG, 1993).

It is clear that the simple interactivity of a fingering process which adequately accounts for the captivating patterning of mineral dendritic forms is also able to explain many patterns found in living beings (PELCÉ, 2004), such as vein branching in the leaves (BOHN, 2002) or the fractal geometry of the liver parenchyma (IANNACCONE & KHOKHA, 1996).

889

890

891

892

893

894

Estudos comparativos entre cristais de neve: placa de número XIX de flocos de neve, no inverno de 1902, publicada na "Revisão do tempo Mensal", em Jericó, Vermont, EUA. Foto: Wilson Bentley. Fonte: Coleção Histórica NWS, 1902.

895

896

897

[Studies among snow crystals: plate XIX of snow flakes, in the winter of 1902, published in the "Montly weather review", in Jericho, Vermont, U.S. Photo: Wilson Bentley. Source: Historic NWS Collection, 1902.]

898

899

900

Morfogênese como processo [Morphogenesis as process]

A geometria estatisticamente fractal de muitas estruturas biológicas (tão difundida entre árvores, inflorescências, corais e sistemas de ramificação de vasos e traqueias) vai a favor de uma visão multicêntrica de desenvolvimento (MINELLI, 2003:7), que normalmente gera pontos de vista não-convencionais sobre as características básicas da organização animal, tais como eixos do corpo, simetria, segmentos, regiões do corpo, apêndices e conceitos relacionados.

De acordo com Minelli (2003:104), a arquitetura do corpo da maioria dos animais é baseada na topologia simples de elementos linearmente dispostos e/ou de ramificação, tanto dentro quanto fora do corpo. Às vezes, essa topologia simples é interrompida durante o desenvolvimento.

“Se o desenvolvimento é simplesmente a rede de dinâmica acontecendo em sistemas multicelulares, não há nenhuma razão para considerar o desenvolvimento como uma propriedade global de um organismo como tal” (MINELLI, 2003:7).

Ontogenia é o desdobramento de mecanismos de desenvolvimento cujos parâmetros são largamente especificados pelo genoma (GOODWIN, KAUFFMAN & MURRAY, 1993:142). Não se sabe quando e se tais mecanismos dão origem a algumas formas ou uma gama de formas, cada uma requerendo o mais delicado equilíbrio genético entre os parâmetros de controle.

“Alguns princípios dinâmicos resultantes de um acoplamento de diferentes mecanismos de desenvolvimento (síntese molecular, ativação do gene, padronização espacial de substâncias, interações celulares, separação de células, e movimentos morfogênicos) resultam numa redução significativa nos graus de liberdade disponíveis para todo o sistema de desenvolvimento”. (MINELLI, 2003:9 apud GOODWIN, KAUFFMAN & MURRAY, 1993:143).

The statistical fractal geometry of many biological structures (so widespread among trees, inflorescences, corals and branching systems of vessels and tracheae) goes in favor of a multicentric view of development (MINELLI, 2003:7), that normally lead to unconventional views on the basic features of animal organization, such as body axes, symmetry, segments, body regions, appendages, and related concepts.

According to Minelli (2003:104), the body architecture of most animals is based on the simple topology of linearly arranged and/or branching elements, inside and outside the body. Sometimes this simple topology is disrupted during development.

“If development is simply the network of dynamics going on in multicellular systems, there is no reason to regard development as a global property of an organism as such” (MINELLI, 2003:7).

Ontogeny is the unfolding of developmental mechanisms whose parameters are largely specified by the genome (GOODWIN, KAUFFMAN & MURRAY, 1993:142). It is not known when and whether such mechanisms give rise to a few forms or a range of forms each requiring the most delicate genetic balance among the control parameters.

“Some dynamic principles arising from a coupling of different developmental mechanisms (molecular synthesis, gene activation, spatial patterning of substances, cell interactions, cell sorting, and morphogenetic movements) result in significant reduction in the degrees of freedom available to the whole developmental system.” (MINELLI, 2003:9 apud GOODWIN, KAUFFMAN & MURRAY, 1993:143).

A maquinaria genética conservada parece controlar os eventos morfogenéticos, como ramificação e anastomose em classes de animais muito divergentes (por exemplo, vertebrados e insetos) (MINELLI, 2003:51).

Fleury demonstrou como as morfologias de ramificação nos pulmões, rins e as glândulas mamárias de muitos vertebrados (que são órgãos de ramificação) podem desenvolver-se também após um simples processo físico (como a ramificação viscosa) (FLEURY et al., 2003). Este processo ocorre sempre que um fluido menos viscoso é empurrado para penetrar num fluido mais viscoso. Desta forma, simples forças físicas podem gerar “dedos” ramificados, mas não estabilizá-los (HOGAN et al., 1997).

Apesar disso, a morfologia não proporciona regularidade nas padronagens espaciais e temporais dos locais em que morfologias semelhantes originam. Aí é onde *“a transição de genérico para genética encontra-se novamente, com a intervenção de genes, tais como aqueles realmente envolvidos nestes processos”* (FLEURY, 2001).

Poder-se-ia esperar que a *“autossemelhança ou a estrutura fractal destes padrões de ramificação fosse um bônus obtido, sem custos adicionais na genética, mas este não é necessariamente o caso”* (MINELLI, 2003:52), porque o padrão e a estrutura de ramificação são especificados em cada nível de ramificação sob controle genético específico (SUTHERLAND, SAMAKOVLIS & KRASNOW, 1996).

“Genes diferentes são envolvidos em cada nível de ramificação” (MINELLI, 2003:52). Em particular, um é necessário para *“ramificação de primeira ordem, mas a sua expressão regula, além disso, a ativação de outros genes envolvidos na ramificação de segunda ordem”* (MINELLI, 2003:52, apud SAMAKOVLIS, 1996), que por sua vez são também necessários para a ativação dos genes responsáveis pelo desenvolvimento das traquéolas, por exemplo.

Conserved genetic machinery seems to control morphogenetic events such as branching and anastomosing in widely diverging animal clades (e.g., vertebrates and insects) (MINELLI, 2003:51).

Fleury has demonstrated how branching morphologies in the lungs, kidneys and mammary glands of many vertebrates (which are branching organs) may develop as well by following a simple physical process (such as viscous fingering) (FLEURY et al., 2003). This process occurs whenever a less viscous fluid is pushed to penetrate into a more viscous fluid. This way, simple physical forces may generate branched fingers, but do not stabilize them (HOGAN et al., 1997).

Nevertheless, morphology does not provide regularity in the spatial and temporal patternings of the sites in which similar morphologies originate. This is where the *“generic-to-genetic transition is found again, with the intervention of genes, such as those actually involved in these processes”* (FLEURY, 2001).

It might be expected that the *“self-similarity or fractal structure of these branching patterns would be a bonus obtained at no extra genetic cost, but this is not necessarily the case”* (MINELLI, 2003:52), because the pattern and structure of branching are specified at each branching level under specific genetic control (SUTHERLAND, SAMAKOVLIS & KRASNOW, 1996).

“Different genes are involved at each level of branching” (MINELLI, 2003:52). In particular, one is needed for *“first-order branching, but its expression regulates, in addition, the activation of other genes involved in second-order branching”* (MINELLI, 2003:52, apud SAMAKOVLIS, 1996), which, in turn, is also required for activation of the genes responsible for the development of the tracheoles, for instance.

O que se sabe é que no processo de envelhecimento humano, a natureza prefere o caos à regularidade (KYRIASIS, 2003), assim em algum momento do desenvolvimento, as aplicações práticas da teoria do caos e os esforços organizacionais da morfogênese se encontram casualmente como na história fictícia dos personagens Benjamin Button⁹ (Brad Pitt) e Daisy (Cate Blanchett). Assim apenas resta a possibilidade de especular sobre o significado adaptativo deste controle genético ou sobre as “camadas congeladas de história do desenvolvimento, dos quais os atuais arranjos de desenvolvimento podem reter a memória” (METZGER & KRASNOW, 1999).

What is known is that in the human ageing, nature prefers chaos to regularity (KYRIASIS, 2003), so at some point of development, the practical applications of chaos theory and organizational efforts of morphogenesis are casually as fictional history characters Benjamin Button¹⁰ (Brad Pitt) and Daisy (Cate Blanchett). Then it is only left the possibility of speculating about the adaptive significance of this genetic control or about the “tiers of frozen developmental history, of which the current developmental schedules may retain the memory” (METZGER & KRASNOW, 1999).

Bluegenes #1: imagem de transmissão de microscópio eletrônico, realizada em 1982 por Ruth Kavenoff e Brian Bowen. A imagem mostra uma molécula de DNA em um genoma da bactéria intestinal E. Coli. O DNA está ampliado com fator de 15000 vezes. É curioso que essa mesma bactéria é uma das mais estudadas com relação a seu crescimento ramificado de colônias. Fonte: (Physics in the twentieth century, 1999: 29).

[Bluegenes # 1: image transmission electron microscope, made in 1982 by Ruth Kavenoff and Brian Bowen. The image shows a DNA molecule in a genome of intestinal bacteria E. Coli. It is curious that this same bacterium is one of the most studied with respect to the growth of branched colonies. The DNA is amplified by a factor of 15,000 times. Source: (Physics in the twentieth century, 1999: 29).]

⁹ O Curioso Caso de Benjamin Button (2008), filme. Diretor: David Fincher; Escritor: Eric Roth (roteiro e história).

¹⁰ The curious case of Benjamin Button (2008), film. Director: David Fincher; Writer: Eric Roth (screenplay and story).

CAPÍTULO [CHAPTER] 4

Translúcido (xilema e floema botânicos, mecânica da água, fluidos sob pressão) [Translucent (botanical xylem and phloem, mechanics of water, fluids under pressure)]

Esta seção trata de quatro categorias:

- Pressão que resulta em ramificações
- Estrutura ramificada da água resultante de diferentes processos de congelamento
- Padrões resultantes da passagem de fluidos por dado contexto ambiental
- Padrões resultantes de convecção de líquidos

This section covers four categories:

- Pressure that results in branching
- Water branched structure resulting from different processes of freezing
- Resulting patterns from passage of fluids through a given environmental context
- Resulting patterns of liquid convection

“Estas imagens foram feitas durante a observação da fervura nos primeiros estágios de preparo de um doce de banana. Percebi o processo de deslocamento da água que estava misturada ao açúcar e às enzimas da banana, que tem pH básico. O calor dilata as moléculas de ar, que expandem-se até a ruptura da bolha que as contém. É um processo dinâmico de expansão e retração, em que a física encontrou um modo interessante de compactar volumes, por modelos aproximados hexagonais, tipo colméia de abelha. Não se trata de um caso típico de ramificação, mas estão inseridas aqui, pois eu as classifico como um modo típico de formação de padronagem via processo de crescimento da forma.” (S.T.)

“These pictures were taken during the observation of the boil in the early stages of preparing a sweet banana. I noticed the process of water displacement which was mixed with sugar and banana enzyme which has basic pH. The heat expands the air molecules, which expand to rupture of the blister which contains them. It is a dynamic process of expansion and contraction, in which physics has found an interesting way to compress volumes by models approximating hexagonal honeycomb bee. This is not a typical case of branching, but they are included here because I classify them as a typical way of patterning process via the shape growth.” (S.T.)

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

"Quando o floco de neve pousou na jaqueta azul: sinto que este tenha sido o momento mais poético durante a pesquisa. Eu estava com vários pesquisadores de diversas partes de mundo e caminhávamos em direção a um restaurante sardo, no bairro universitário de Milão em 2010. Há muito tempo eu buscava visualizar um floco de neve, para mim um modelo esteticamente agradável e acima de tudo abstrato, geralmente apenas visto em reproduções acrílicas enfeitando árvores de Natal. E eis que começou a nevar. E lentamente descem do céu uns poucos flocos e pousam na jaqueta azul impermeável de Gagan. Depois descobri nos livros que não podia ser qualquer nevezinha, pois havia mesmo a necessidade de uma temperatura x (início do derretimento do floco), uma umidade y e um vento z , que permitiriam aquele momento único. Até hoje aquela imagem, às vezes, aparece para mim inesperadamente, para relembrar a sensação especial de um Natal verdadeiramente mágico, conversando sobre fractais com aquele talentoso jovem arquiteto sikh. Numa manhã fria de outono de 2012, em Turim, a caminho do Politecnico di Torino, este fenômeno aconteceu de novo e desta vez consegui realizar as imagens acima." (S.T.)

"When the snowflake landed on the blue jacket: I feel that this has been the most poetic moment during the research. I was with several researchers from different parts of the world and we walked towards a Sardinian restaurant in the university district of Milan in 2010. I had long sought to I see a snowflake, because for me it is an aesthetically pleasing model and foremost abstract, in general only seen in reproductions of acrylic Christmas tree. Behold it started snowing. And slowly a few flakes descend from the sky and land in the blue jacket waterproof Gagan. Later I discovered in the books that it did not happen to every snowflake because there was even a need for a temperature x (onset of melting flake), a humidity y z a wind that would allow that single moment. Until today that day that image sometimes appears to me unexpectedly, to remember the special feeling of a truly magical Christmas, talking about fractals with that talented young sikh architect. On a cool autumn morning in Turin in 2012, en route to the Politecnico di Torino, this phenomenon happened again and this time I was able to shoot the pictures above." (S.T.)

Esta experiência foi feita no meu congelador caseiro. Conforme a umidade e a temperatura no ambiente, o congelamento resulta em padrões bastante diversos.

[This experiment was done in my home freezer. According to the temperature and humidity in the environment, freezing results in very different patterns.]

Fotos: S.T. [Photos: S.T.]

Estas imagens foram feitas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, no Maranhão. Dependendo da velocidade com que a água passa, a interação com o vento e o substrato de fundo, padrões ramificados vão lentamente aparecendo na paisagem para deleite momentâneo.

[These pictures were shot at Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão, Brazil. Depending on the speed with which the water passes, interaction with wind and bottom substrate, branched patterns slowly show up on the landscape for some stunning time.]

Fotos: S.T. [Photos: S.T.]

Um exemplo clássico de ramificação viscosa do tipo célula de Hele-Shaw. Nada mais é do que o ar que encontra um caminho para se espalhar em local de pouco espaço, em que a pressão do fluido gera padrões ramificados.

[It is a classic example of the Hele-Shaw type of viscous branching. It is nothing more than the air finding its way to spread itself in a little space in which the fluid pressure generates branched patterns.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Um dia encontrei estilhaçada a vidraça de um restaurante em Turim. A partir deste dia comecei a me perguntar se, a exemplo dos relâmpagos, as ramificações seriam o modo mais eficiente que a natureza encontra para transmitir energia de um ponto a outro.

One day I found a shattered window of a restaurant in Turin. From that day I began to wonder if, like the lightning, branching would be the most efficient way that nature is to transmit energy from one point to another.

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Nos pavimentos sob pressão excessiva este tipo de transmissão de energia também parece fazer sentido. [In floors under excessive pressure this type of power transmission also seems to make sense]. Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Prata (sinapse neural, descargas elétricas e eletrodeposição metálica) [Silver (neural synapse, electrical and metal electroplating)]

"O lentificar de raios e relâmpagos: Ouço trovejar e rapidamente pulo da cama: há muitos meses aguardo o sonhado momento em que registrarei um daqueles raios magníficos que descem do céu em forma de estrutura ramificada, caminham lateralmente por nuvens e ascendem magistralmente. Ainda não consegui fotografar relâmpagos, estes seres quase etéreos ágeis como a luz, parece que zombam do meu olhar, brincam de esconde-esconde comigo, e mostram sua face tão rapidamente que me fazem voltar a dormir desesperançada, embalada pelos conseqüentes trovões."

"The slowing of lightning storms: I hear some thunders and I quickly jumpe out of bed: many months awaiting the moment I dreamed to register one of those magnificent rays that descend from heaven in the form of branched structure, walk side by side with clouds and ascend masterfully. Yet I could shoot lightning, these semi-ethereal beings, agile as the light seems to mock my eyes, playing hide and seek with me, and show his face so quickly that make me go back to sleep hopeless, consequential packaged by thunder."

Fonte [Source] :
http://members.iinet.net.au/~pterren/tesla_coil_sparks.htm

Fonte [Source] : imagem adaptada de [adapted image from]:
http://mpbonline.org/News/article/mississippi_among_worst_in_nation_for_lightning_fatalities

Magenta (flores e frutos) Magenta [(flowers and fruit)]

A principal subclasse deste grupo Magenta é a da observação de ramificações nos grupos vegetal, floral ou das frutas, que exemplifica como os sistemas da natureza são tectonicamente construídos, de modo que o conceito estético exterior revela sua concepção estrutural automaticamente. Isto pode ser bem observado nas nervuras tridimensionais coloridas em algumas espécies de orquídeas, de funções estética, estrutural e circulatória.

[The main sub-class of this group is the observation of branching surface in vegetables, fruit or flowers, though this cannot be considered in the literal sense, because many systems of nature tectonically build their forms so that the exterior reveals its structural design automatically. This can be well observed in the colorful ribs of some species of orchids, covering aesthetic, structural and circulatory functions.]

Fotos: S.T. [Photos: S.T.]

Ramificação superficial na orquídea. [Superficial branch in orchid.]

*Fibras sustentadoras no invólucro do alho.
[Fibers sustaining the garlic housing.]*

*Ramificação por coloração em grão de romã.
[Branching by staining in pomegranate bean.]*

*Ramificação do sistema circulatório
de pétala de orquídea. [Circulatory
branching of orchid petal.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Ramificação estrutural
em pétala de orquídea.
[Structural branching on
orchid petal.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Ramificação estrutural em
pétala de flor. [Structural
branching on flower petal.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Ramificação estrutural em
pétala de orquídea. [Structural
branching on orchid petal.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Nervuras hiperbólicas que a natureza consegue criar tão facilmente, enquanto a matemática encontra grande complexidade para sua reprodução. Esta imagem foi realizada como complemento ao meu trabalho em crochet experimental simulando organismos marinhos, inspirada pelo trabalho da bióloga Margaret Wertheim.

[Hyperbolic ribs that nature can create very easily, while the math is very complex for its reproduction. This image was taken as a supplement to my work on experimental crochet simulating marine organisms, inspired by the work of the biologist Margaret Wertheim.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Marrom (asas e frutos) [Brown (wings and fruit)]

Esta seção trata de duas categorias:

- Animais cuja ramificação auxilia movimentos no ar
- Estruturas de apoio que sustentam outra estrutura

This section covers two categories:

- Animals whose branching assists movements in the air
- Support structures that support another structure

*Ramificação estrutural em asa de
abelha que visa eficiência no voo.
[Branching structural in the bee
wing that seeks efficiency in flight.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

"Asas de borboleta fascinam não apenas pelo brilho nacarado, mas por sua estrutura que por meio da sutileza de finas ramificações que enfrentam as intempéries do tempo..." ["Butterfly wings fascinate not only due to their pearlescence, but also due to their structure that via the subtlety of thin branches they face the weather forecast..."] (S.T.)

Foto: S.T. Photo: [S.T.]

Ramificação aparente na folha e ramificação oculta na estrutura da asa da borboleta. [Apparent branching in leaf and hidden branch structure in the butterfly wing.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Cinza (colônias de bactérias, dendritos rochosos)
[Gray (bacterial colonies, rocky dendrites)]

Esta seção trata de três categorias:

- Aglomeração ramificada de partículas
- Estruturas rochosas que são estatisticamente fractais
- Colônias de seres vivos simples

This section covers three categories:

- Branched agglomeration of particles
- Structures rocky that are statistically fractals
- Colonies of simple living beings

Fractalidade estatística em formações geológicas tais como a região do Monte Branco, Itália. [Statistical fractality in geological formations such as the Mont Blanc region, Italy.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Fractalidade em rocha ornamental
de revestimento de vitrine em
Turim. [Fractality in ornamental
rock coating showcase in Turin.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Dendritos rochosos que se assemelham a padrões de crescimento bacterianos, porém não tem nada a ver com organismos biológicos. [Rocky dendrites that resemble bacterial growth patterns, but it has nothing to do with biological organisms.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Dendritos rochosos que se assemelham a padrões de crescimento bacterianos, porém não tem nada a ver com organismos biológicos.

Rocky dendrites that resemble bacterial growth patterns, but it has nothing to do with biological organisms.

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos.
[Prevalence of fungi.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos.
[Prevalence of fungi.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos.
[Prevalence of fungi.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos.
[Prevalence of fungi.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos
em mangostim. [Prevalence
of fungi in mangosteen.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos
em pasta de grão-de-bico
construindo ramificações
dendríticas visíveis a olho nu.
[Prevalence of fungi in
homus building visible
branching dendrites to the
naked eye.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Líquen ramificado em árvore.
[Branching lichen on tree.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos
em pão italiano. [Prevalence
of fungi in Italian bread.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Predominância de fungos
em pimenta dedo-de-moça.
[Prevalence of fungi in chili.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Verde (folhas, algas) [Green (leaves, algae)]

Esta seção trata de duas categorias:

- Ramificações estruturais para padrões de crescimento
- Ramificações para contenção estrutural

This section covers two categories:

- Structural branching for growth patterns
- Branching for structural containment

"Descaminhos das formigas: fecho um dos olhos para observar as formigas, como sob uma luneta. Ágeis na sua pequenez, transportam pedaços de folhas para construir sua casa coletiva. Os pedaços de rasgos verdes que se descobertam facilmente sobre a parede alva onde se realizam a multiplicidade dos caminhos apresentam contornos rugosos. Ali bem diante dos meus olhos está a demonstração das palavras de Benoit Mandelbrot, para quem, segundo suas aulas de latim no pós-guerra, o contrário de regularidade seria rugosidade ao invés de irregularidade, pois é assim que o mundo natural se apresenta macro ou microscopicamente, em contestação à simplificação platônica do mundo formado por círculos, triângulos e retângulos. Os rasgos nas folhas realizados pelas formigas obedecem a forma ramificada de crescimento em várias escalas – um aspecto semialgorítmico característico de cada espécie." (S.T.)

"Preenchendo vazios: no meu cubo imaginário, quero preencher o vazio, como numa brincadeira de pecinhas de Lego. Como preencher eficazmente o vazio? A resposta vem certa: ramificações tridimensionais, as estruturas minimais no espaço, da mesma forma que eu responderia parabolóides hiperbólicos a la Frei Otto, caso a pergunta se referisse a planos minimais. No espaço, as ramificações tomam conta do volume sem despendar mais material que o necessário; e pensando em automação deste mesmo ambiente, chega-se a uma solução tetradimensional: o espaço se alterando ao longo do tempo com a adição de um grau de liberdade matemática à equação." (S.T.)

"Misleadings of ants: I close one eye to observe ants, as if I had a telescope. Agile in their smallness, they carry pieces of leaves to build their collective home. Pieces of green tears that easily unveil on the morning wall where they perform the multiplicity of paths present rough contours. Right there before my eyes is the demonstration of the words of Benoit Mandelbrot, who believes, according to his Latin lessons in postwar, the opposite of regularity would roughness instead of irregularity, because that is how the natural world presents macro or microscopically, in response to the simplification of the Platonic world consisting of circles, triangles and rectangles. Tears in the leaves carried by ants obey branched form of growth at various scales – a semi-algorithmic characteristic of each species." (S.T.)

"Filling the gaps: in my imaginary cube, I want to fill the void, as in a game of little pieces of Lego. How to effectively fill the void? The answer is accurate: branching three-dimensional structures in minimal space, the same way I would answer hyperbolic paraboloids a la Frei Otto, if the question was referring to minimal surfaces. Within the space, branching takes account of the volume without spending more material than necessary, and considering automation of that environment, it is possible to reach a tetradimensional solution: space can be always changing over time by adding a degree of freedom to the mathematical equation." (S.T.)

*Padrão de crescimento de
broto de gengibre. [Ginger
growth's pattern.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Padrão ramificado de
membrana de sustentação
interna na romã. [Branched
membrane of internal
support in pomegranate.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Padrão sólido e compacto
de sustentação interna na
romã. [Solid and compact
pattern of internal support
in pomegranate.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Padrão estatisticamente fractal no grupo das samambaias, cuja modelagem matemática de Michael Barnsley chega bastante próxima da realidade.[Statisticaly fractal pattern of the fern group whose mathematical modeling of Michael Barnsley comes quite close to reality.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Visibilidade das ramificações
estruturais remanescentes na
planta por subtração de
material orgânico. [Visibility
of the reminiscent plant
branching structure via
subtraction of organic
material.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Disposição ramificada das estruturas de contenção do sumo do limão, alertando para o padrão de crescimento radial. [Branched arrangement of lime structures containing the lime juice, an alert to radial growth.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Arquitetura naturalmente
ramificada dos igarapés.
[Naturally branched
architecture of streams.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Árvore com ramificações
de várias ordens. [Tree with
several branching orders]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Árvore com ramificações
de várias ordens. [Tree with
several branching orders]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Árvore com ramificações
de várias ordens. [Tree with
several branching orders.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Árvore com ramificações
de várias ordens. [Tree with
several branching orders.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Ocre (conchas, frutos, sulcos e percursos) [Ochre (shells, fruits, grooves and tracks)]

Esta seção trata de quatro categorias:

- Padrões em superfícies minimais
- Sustentação e proteção do meio externo
- Sustentação central da estrutura do organismo
- Movimentação via percursos

This section covers four categories:

- Patterns for minimal surfaces
- Support and protection of the external environment
- Core support of the body structure
- Movement via pathways

"Lençóis e as pegadas na areia: caminho sobre dunas no Maranhão, Brasil, e comigo um número incontável de outros pés a tocar a areia branca e fofa. Partem de um único local e lentamente se dispersam por entre os lençóis. Surgem formas ramificadas sob o céu azul, o vai-e-vem das opções individuais por novos caminhos, mais ou menos retos. Alguns vagueiam, perdendo-se na sutileza miríade do horizonte, procurando por encontros inusitados. Outros querem otimizar seus passos no relevo incerto que se altera a cada segundo ao sabor do vento. Mas ao fim, visto em planta, cada grupo de viajantes cria um padrão em seus encontros e desencontros, conforme uma árvore bidimensional por menor tempo que seja, em que seus rastros se sustentam a barlavento. Em resumo, para mim esta seria a transcrição visual da efemeridade de uma ramificação." (S.T.)

"Passagem de padrões, carimbos em movimento. Percebo que os padrões da água se imprimem em solo firme. O ir e vir da força delicada do fluido garante ao sólido que encontrar pela frente, que este seja contaminado por seus singelos padrões. Não de crescimento (porque o volume da água não se multiplica, mantidas as mesmas condições iniciais de pressão e temperatura), mas sim de seus padrões de movimentação das partículas ou agrupamento destas." (S.T.)

"Water sheets and the footprints on the sand: I walk over dunes sand in Maranhão, Brazil and countless other feet touching the sand are also feeling its white and soft feel. They depart from a single location and slowly disperse throughout the sand sheets. Branched forms arise under the blue sky, the back-and-forth individual options for new paths, more or less straight ones. Some wander, lost in the myriad subtleties of the horizon, looking for unusual encounters. Others want to optimize their uncertain steps in relief that changes every second in the wind. But finally, viewed in plan, each group of travelers creates a pattern in their encounters and misleadings that conforms to a short time tree-dimensional track and that is where they hold up to windward. Briefly, for me this would be the visual transcription of the ephemerality of a branch." (S.T.)

"Path patterns, moving stamps: I realize that the water patterns are printed on solid ground. The come and go of the delicate strength fluid guarantees to the solid that lies ahead, let this be contaminated by their simple patterns. No growth (because the volume of water is not multiplied if the same initial conditions of pressure and temperature are kept), but their movement patterns or grouping of these particles." (S.T.)

Ao contrário do ditado popular, cada macaco não fica no seu galho. As ramificações arbóreas colaboram na troca constante de posição, demarcando amplitude de movimento e acessibilidade a alimentos. [Unlike the popular saying, each monkey is not in his branch. The tree branches collaborate in the exchange constant position, marking range of motion and accessibility to food.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Diminutos organismos que desenharam na areia, trilhas e percursos que delineiam sua passagem pelo local. [Tiny organisms that draw in the sand, trails and paths that delineate their passage along there.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

As nuvens, que são fractais estatísticos, e os padrões cinéticos na areia. [The clouds, which are statistical fractals, and kinetic patterns on the sand.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*As fibras da castanha como
invólucro para configuração
do crescimento. [The fibers
of chestnut as the wrapper
for growth setting.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Os padrões de crescimento da
concha revelados nas
reminiscências de sua estrutura.
[The growth patterns of the shell
revealed in the reminiscences of
its structure.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Organismos cujas estruturas auxiliam seus movimentos na água [Organisms whose structures help their movements in water]

Movimento característico desta espécie de anêmona. Uma forma hiperbólica cuja modelagem matemática é bastante trabalhosa, mas que a natureza parece construir facilmente a partir de um código-base. [Movement characteristic of this species of anemone. A hyperbolic shape whose mathematical modeling is rather cumbersome, but that nature seems to build easily from base code.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Visão da estrutura da anêmona no seu lado inverso, que revela as direções de crescimento e como ocorre a sustentação deste tipo de forma. [Overview of the structure of the anemone in its reverse side, which shows the directions of growth and how the support of this kind of shape takes place.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Estrutura de organismo
em curiosa forma de rede.
[Organism structure in
curious network shape.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*O pulsar das água-vivas,
que analogicamente ao
nado peito, impulsiona a
locomoção. [The pulse of
jellyfishes, analogously to
the breaststroke, drives
the locomotion.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

O movimento caótico browniano das bolhas de ar no mar e a complexa estrutura de locomoção da estrela do mar em Dubrovnik, Croácia. [The chaotic Brownian motion of air bubbles in the sea and the complex structure of locomotion in starfish Dubrovnik, Croatia.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Estruturas locomotoras e
digestivas do ouriço-do-mar.
[Locomotor and digestive
structures of the urchin.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Absorção de alimento por este tipo de anêmona, a partir da filtração do fluido que esbarra em sua estrutura. [Absorption of food by such anemone from the filtration of the fluid that collides with its structure.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Proto-soluções biomiméticas [Proto biomimicry solutions]

Estrutura radial do kiwi que pode se tornar semelhante a cúpulas dependendo do seu corte. [Radial structure of kiwi that can become like domes depending on your cut.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Direção das fibras da casca da
cebola e o entrelaçamento delas;
configuração semelhante à ogiva.
[Direction of fibers from the bark of
onion and their interlacement;
similar configuration to warhead.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

A ramificação que se sustenta por apoio em torno de outra planta. [The branch that is sustained by support around another plant.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Tal como na formação de veias do sistema circulatório humano, nesta planta o entrelaçamento de ramificações causam fechamento de circuitos em redes estruturais fibrosas por ramificação. [As in the formation of veins in the human circulatory system, in this plant branches interlace and cause closure of circuits made by fibrous structural branching networks.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*Nervuras ramificadas na
estrutura floral. [Branched
veins in floral structure.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

*A lição da rosa cujo caule sob flexão
acomoda o peso do besouro. [The
lesson of the rose whose stem under
bending accommodates the weight
of the beetle.]*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Interação entre dois ou mais padrões de ramificação num mesmo organismo; cada um respondendo a uma necessidade sistêmica. [Interaction between two or more branching patterns in a single body, each responding to a different systemic necessity.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

Padrões não-ramificados [Non-branching patterns]

*Disposição de padrões na
superfície da cobra.
[Patterned layout on the
surface of the snake.*

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

A estrutura corporal da
superfície do camaleão e sua
coloração em permanente
mutação. [The body structure
of the chameleon surface and
its coloration in permanent
mutation.]

Foto: S.T. [Photo: S.T.]

CAPÍTULO [CHAPTER] 5

Agano Machiko

Fonte [Source]: <http://www.agano-machiko.com/>

Arne Quinze
Fonte [Source]: <http://arnequinze.com/>

Hydroponics
by ecologic studio

If we think of the earth as a living system, it would be an ecosystem. The biological system would grow in a closed system. The ecology of the world grows in a closed system, whose origin is in the space, in Latin 'O.R.T.'.

O.R.T.

Ecologic Studio and Myra
for the
Roundtable Event
at Night
Hall and AA
July 2011

Ecologic Studio

Fonte [Source]: <http://www.ecologicstudio.com/>

Colar fractal baseado no conjunto de Julia, da joalheria Boucheron, concebida por Marc Newson, 2010. Fonte: imagem de divulgação no site <http://www.boucheron.com>

[Necklace based on fractal Julia set, the jeweler Boucheron, designed by Marc Newson, 2010. Source: image from disclosure on the website <http://www.boucheron.com>]

Mia Pearlman
Fonte [Source]: <http://miapearlman.com/>

Philip Beesley

Fonte [Source]: <http://www.philipbeesleyarchitect.com/>

Philip Beesley
Fonte [Source]: <http://www.philipbeesleyarchitect.com/>

Tomas Saraceno
Fonte [Source]: <http://www.tomassaraceno.com/>

Tomas Saraceno

Fonte [Source]: <http://www.tomassaraceno.com/>

Tomas Saraceno

Fonte [Source]: <http://www.tomassaraceno.com/>

Margaret Wertheim

Fonte [Source]: <http://blog.calarts.edu/2010/11/01/the-hyperbolic-crochet-coral-reef-travels-from-ireland-to-the-smithsonian/>

Carlo Ratti

Fonte [Source]: <http://www.carloratti.com/>

Thomas Heatherwick
Fonte [Source]: <http://www.heatherwick.com/>

Thomas Heatherwick
Fonte [Source]: <http://www.heatherwick.com/>

Silvia Titotto
Fonte [Source]: <http://www.titotto.com>

Silvia Titotto

Fonte [Source]: <http://www.titotto.com>

Silvia Titotto
Fonte [Source]: <http://www.titotto.com>

Silvia Titotto
Fonte [Source]: <http://www.titotto.com>

Teia de aranha [Cobweb]
Foto [Photo]: S.T.

Tessitura vernacular de rede de pesca [Vernacular fishing net]
Foto [Photo]: S.T.

Mesquita em Istambul [Mosque in Istanbul]
Foto [Photo]: S.T.

Cúpula turca pintada com mandala [Turkish dome painted with mandala]
Foto [Photo]: S.T.

CAPÍTULO [CHAPTER] 6

Experimentos químicos [Chemical experiments]

Sistemas longe do equilíbrio termodinâmico podem transformar parte da energia a ele fornecida em comportamentos ordenados espacial e/ou temporalmente – denominados estruturas dissipativas. Exemplos clássicos de estruturas dissipativas são: células de Bénard, anéis de Liesegang e reação de Belousov-Zhabotinskii em sistemas sem agitação.

Systems far from equilibrium can transform part of the energy supplied to it in behaviors ordered spatially and/or temporally – named dissipative structures. Classic examples of dissipative structures are Bénard cells, Liesegang rings and reaction Belousov-Zhabotinskii in still systems.

“Durante toda a infância, todos os anos aguardei ansiosamente pelas esplendorosas manhãs de 25 de dezembro, em que um desejo material talvez pudesse ser realizado pelo Papai Noel – meus pais eram bastante rígidos e acreditavam que presentes deviam ser merecidos, conquistados e celebrados nas únicas datas: aniversário e Natal. Num certo ano, pedi um kit de química: repleto de tubos de ensaio, placas de Petri, buretas, pipetas, e componentes químicos, com suas respectivas receitas. E aquela brincadeira que se estendeu até a aniquilação completa dos itens de cada potinho, muitas experimentações depois, compartilhadas com as crianças da família de mesma idade. Nunca me esqueci daquele presente incrível, que entreteve minha sempre presente curiosidade pelo que há de mágico, de movimento, de etéreo.” (S.T.)

“Throughout childhood, every year I waited anxiously for splendid morning of December 25, in which a material desire could perhaps be done by Santa Noel – my parents were very strict and believed that gifts should be earned, won and celebrated the unique dates: birthday and Christmas. In one year, I asked for a chemistry set: full of test tubes, Petri dishes, burettes, pipettes, and chemical components, with their respective revenues. And that joke that lasted until the complete annihilation of items in each little pot, after many trials, shared with the family's children of the same age. I never forgot that incredible gift that always entertained my curiosity for what's this magical, motion, ethereal.” (S.T.)

“Ritmos de uma ramificação: Como seria ritmar uma ramificação? Arte sonora baseada em palitos paralelos ou em forma de árvore? Ou música concebida matematicamente por meio de padrões fractais...” (S.T.)

“Branching rhythms: how would be pacing branch? Sound art based on parallel sticks or tree form? Or music mathematically conceived by means of fractal patterns...” (S.T.)

Experimento: Célula de Hele-Shaw

Realizei este experimento durante meu período em Turim, porém não deu certo: penso que foi falta de pressão na injeção de ar pelo canudinho de caneta BIC. Provavelmente havia também algum local pelo qual este ar era expelido sem concentrar-se em afastar as moléculas de glicerina.

Porém, vagando pelas ruas de Turim, uma vez deparei-me com um bar cujo filme dos caixilhos estava se descolando. Tratava-se deste fenômeno de ramificação por força do ar e desta situação que trago algumas fotos sobre este fenômeno.

O experimento consiste basicamente em duas placas rígidas transparentes, separadas por um pequeno intervalo. É recomendado o uso de vidro, mas de plástico transparente (acrílico) funciona bem e é mais fácil de usar.

Para ter uma ideia de escala, a bandeja superior cerca de 27 x 27 cm, e a inferior cerca de 34 x 34 cm. O acrílico pode ser de 4 mm de espessura e pode ser colado com resina epóxi.

A placa superior é separada da parte inferior por espaçadores planos. Em cada canto uma moeda de 10 centavos de Real oferece uma separação correta. O líquido viscoso é glicerina, e pode ser comprado em farmácia. Para uma melhor visualização do padrão desejado, corante alimentar pode ser adicionado.

O pesquisador Tamás Vicsek simplesmente fez um furo para encaixar o tubo de tinta vazio de uma caneta esferográfica (cerca de 2 mm de diâmetro interno), em que o ar é injetado através de um pequeno buraco na placa de cima.

É mais simples injetar o ar através de uma seringa de plástico ligada a um tubo de borracha, ou apenas através do tubo de sopro em vez disso. O padrão viscoso com forma semelhante a dedos é uma forma instável, o que significa que ela raramente se mantém nesse estado (VICSEK, 1988).

I conducted this experiment during my time in Turin, but it failed: I think it was lack of pressure in the injection of air through the straw BIC pen. Probably there was some place by which the air was expelled without focus on removing the glycerin molecules.

But, once I was wandering the streets of Turin and I ran into a bar whose insulfin was taking off. It was this phenomenon branching under air pressure and from this situation that I exhibit a few pictures of this phenomenon.

The experiment consists basically of two transparent rigid plates separated by a small gap. The use of glass is recommended, but transparent plastic (acrylic) works well and it is easier to use.

For an idea of scale, the top tray can measure about 27 x 27 cm, and the lower about 34 x 34 cm. The acrylic can be 4 mm thick and can be glued with epoxy resin.

The upper plate is separated by spacers from the bottom planes. In each corner a coin of 10 cents provides a correct separation. The viscous liquid is glycerine, and can be purchased in pharmacies. For a better view of the pattern desired, food coloring can be added.

The researcher Tamás Vicsek simply made a hole to fit the tube empty ink of a ballpoint pen (about 2 mm internal diameter), in which air is injected through a small hole in the top plate.

It is simpler to inject air through a plastic syringe connected to a rubber tube, or only through the blow tube instead. The viscous fingers' pattern is similar to an unstable form, which means that it rarely keeps this state (VICSEK, 1988).

Experimentos com ondas químicas na reação BZ [Chemical waves in the BZ reaction experiments]

Os padrões a seguir podem similarmente produzidos por meio da reação de Belousov-Zhabotinsky (BZ), apresentado pelo Prof. Dr. em Química Jim Al-Khalili num documentário que assisti no Canal 4 da BBC inglesa em meados de 2010.

Testei a seguinte receita no Politecnico di Torino, porém as imagens geradas não tiveram qualidade adequada, portanto, utilizei uma fotografia de Stephen Morris do experimento realizado por Michael Rogers que fazem jus ao experimento para apresentar o resultado esperado.

Receita dada por Roesky & Möckel (1996):

Solução A: 2 ml de ácido sulfúrico + 5 bromato de sódio g (NaBrO₃) em 67 ml de água.

Solução B: 1 g de brometo de sódio (NaBr) em 10 ml de água.

Solução C: 1 g de ácido malônico em 10 ml de água.

Solução D: 1 ml de ferroína (25 ml de sulfato de fenantrolina ferroso).

Solução E: 1 g de Triton X-100 (um tipo de sabão) em 1 litro de água.

Coloca-se 6 ml de solução A em uma placa de Petri de cerca de 3 polegadas de diâmetro; adiciona-se 2.1 ml de solução B e 1 ml de solução de C. A solução adquire uma cor acastanhada como bromo. Após um minuto a cor marrom desaparece. Uma vez que a solução se tornar clara, adiciona-se 1 ml de solução D (que vai virar o líquido vermelho) na placa de Petri com cuidado para misturar as soluções (ele ficará azul, mas rapidamente volta ao vermelho) , em seguida, deve-se deixar repousar.

Gradualmente, manchas azuis aparecerão no líquido quiescente vermelho e estes irão expandir lentamente como frentes de onda circulares. Normalmente, haverá de uma a dúzia de centros de ondas e as frentes azuis se aniquilam umas às outras quando elas colidem (AL-KHALILI, 2010).

Tese de Doutorado Co-Tutela com Dupla Titulação [Co-directed Doctorate Thesis with Double Degree] – FAUUSP/POLITO

The following patterns can be somewhat produced by the Belousov-Zhabotinsky (BZ), presented by the chemist Prof. Dr. Jim Al-Khalili who presented a documentary on Channel 4 BBC English in mid-2010.

I tested the following recipe at the Politecnico di Torino, but the images were not generated adequate quality, so I used a photograph of Stephen Morris's experiment conducted by Michael Rogers that are entitled to the experiment to provide the expected result.

Recipe given by Roesky & Möckel (1996):

The solution: 2 ml of sulfuric acid + 5 g sodium bromate (NaBrO₃) in 67 ml of water.

Solution B: 1 g of sodium bromide (NaBr) in 10 ml of water.

Solution C: 1 g of malonic acid in 10 ml water.

Solution D: 1 ml ferroína (25 ml phenanthroline ferrous sulfate).

Solution E: 1 g of Triton X-100 (a type of soap) in 1 liter of water.

Place 6 ml of solution A into a Petri dish of about three inches in diameter, add 2.1 ml of solution B and 1 ml of solution C. The solution acquires a brown color as bromine. After one minute the brown color disappears. Once the solution becomes clear, add 1 ml of solution D (which will turn the red liquid) in the petri dish gently to mix the solutions (it will turn blue, but rapidly returns to red) then let stand.

Gradually, blue spots appear in red quiescent fluid and these will slowly expand as circular wavefronts. Normally there will be from one to a dozen centers wave fronts blue and annihilate each other when they collide (AL-KHALILI, 2010).

Esta reação é mais impressionante de ser vista quando o suporte é colocado sobre um retroprojektor. O calor do projetor vai aquecer a solução e acelerar um pouco as frentes de onda. Depois de algum tempo, bolhas de dióxido de carbono vão começar a aparecer. Estes podem obscurecer ou interromper o padrão, mas pode-se reiniciar o processo por agitação da solução (BALL, 1999).

Este resultado, que se relaciona visualmente com as faixas de Liesegang, não possui padrões repetitivos. Ao contrário, parecem marcar o nascimento in tempo real de formas caóticas, resultantes de um número limitado de variáveis, ou seja, um exemplo significativo de padrão a partir de um sistema caoticamente determinístico.

This reaction is more impressive to be seen when the supporting dish is placed on an overhead projector. The heat of the projector will heat the solution and accelerate slightly the wave fronts. After some time, bubbles of carbon dioxide will start to appear. These can obscure or disrupt the pattern, but you can restart the process by stirring the solution (BALL, 1999).

This result, which relates visually Liesegang bands, does not have repetitive patterns. On the contrary, they appear to mark the birth of real time chaotic forms resulting from a limited number of variables, namely, a significant example of pattern from a deterministic chaotic system.

É imprescindível dar o crédito desta foto, que substitui o resultado do meu experimento, que não alcançou os padrões ramificados em mutação almejados. [It is essential to give credit for this photo, which replaces the result of my experiment, which did not achieve the desired mutation in branching patterns.]

Foto: Stephen Morris

Reação química: Michael Rogers

Câmera fotográfica: NIKON E885,
f/9.2, 1/60 sec, 12.2mm, ISO 100

Data do experimento: 6/11/2004

<http://www.flickrriver.com/photos/nonlin/4013035510/>

Experimentos com faixas de Liesegang [Liesegang bands experiments]

Meu interesse neste experimento surgiu da observação da natureza, como mostram minhas fotografias na próxima página. Na verdade, existem muitas formas de visualizar a formações destas estruturas, mas basicamente, a mais comum na natureza é por transposição de massa (areia ou neve, por exemplo) em outro lugar por vetores de força, tais como por gravidade ou ventos.

Um modo artificial de simular estes resultados de faixas pode ser feito por zonas de precipitação de um composto insolúvel, que ocorrem em intervalos numa coluna cheia de gel, através do qual um dos reagentes da precipitação de reação se difunde a partir de cima. A receita envolve a reação entre o cloreto de cobalto e hidróxido de amônio, que precipita linhas azuladas de hidróxido de cobalto (SULTAN & SADEK, 1996).

Uma bureta ou um tubo de ensaio podem ser usados como coluna (cerca de 1 cm de diâmetro). O cloreto de cobalto é disperso em um gel de gelatina: misturar 1,5 g de grão fino gelatina e 1 g de cloreto de cobalto hidratado ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) com 25 ml de água destilada e de calor ao ponto de ebulição durante cinco minutos. Em seguida, transfere-se esta mistura imediatamente para a coluna de vidro, deve-se cobrir a parte superior da coluna com película de plástico, e deixarem repouso durante 24 horas para definir a temperatura ambiente (22 ° C) (SULTAN & SADEK, 1996).

Em seguida, adiciona-se 1,5 ml de solução concentrada de amoníaco para o topo do gel solidificado usando uma pipeta. Cobre-se o tubo novamente para repousar. (SULTAN & SADEK, 1996). Depois de vários dias, as bandas começam a aparecer para baixo da coluna. Eles estão estreitamente espaçados cerca de um milímetro separado, embora o espaçamento não seja constante (SULTAN & SADEK, 1996).

Penso que este seja um método de interesse para discussões iniciais para concepção de estruturas biomiméticas baseadas nas formações orgânicas por transposição de material.

My interest in this experiment arose from the observation of nature, as shown in my photos on the next page. In fact, there are many ways to view the formations of these structures, but basically, the common in nature is by implementing mass (sand or snow, for example) elsewhere for vectors of force, such as gravity or wind.

A method of simulating artificial results of these ranges may be made by precipitation zones of an insoluble compound, which occur at intervals on a column filled with gel, whereby a reagent for the precipitation reaction diffuses from above. The recipe involved the reaction of cobalt chloride and ammonium hydroxide, which precipitated bluish lines cobalt hydroxide (SULTAN & SADEK, 1996).

A burette or test tube may be used as the column (about 1 cm in diameter). The cobalt chloride is dispersed in a gelatin gel: mixing 1.5 g of fine-grained gelatin and 1 g of cobalt chloride hydrate ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) with 25 ml of distilled water and heat to boiling for five minutes. Then, this mixture is transferred immediately into the glass column should cover the top of the column with plastic film and let stand for 24 hours to set at ambient temperature (22 ° C) (SULTAN & SADEK, 1996).

Then added 1.5 ml of concentrated ammonia solution to the top of solidified gel using a pipette. Cover the tube back to rest. (SULTAN & SADEK, 1996). After several days, the bands begin to appear down the column. They are closely spaced about one millimeter apart, although the spacing is not constant (SULTAN & SADEK, 1996).

I think this is a method of interest for early discussion about design of biomimetic structures based on organic formations by translating material.

Experimentos luminosos [Light experiments]

Meus experimentos luminosos não se relacionam diretamente com o tema de nascimento de formas ramificadas, conforme as fotografias comprovam naturalmente. Porém, estes testes surgiram da necessidade de perceber o comportamento da luz ao transpassar alguns materiais ou meios. Os resultados preliminares foram importantes para o projeto da instalação Floating Transgenesis (FT), em que a luz transpassa as peças de acrílico, desenhando multiplicações virtuais das formas biomecânicas do trabalho em si.

"A mobilidade do imóvel: enganei-me um dia ao pensar que os corais fossem imóveis. Existem os de mobilidade média, como os corais-cérebro e os de baixa mobilidade, como os corais vermelhos, que em virtude de suas intensas ramificações, muito me interessam. Em seus movimentos lentos e sutis, recebem os nutrientes, negociam parcerias com outros seres marinhos e dançam o balé das convidativas marés mornas." (S.T.)

"Entre dimensões, imersa no texto: imagino 'botões' fixados graficamente em meio ao discurso teórico. Cada 'botão' (ou seja, carimbos/facas de cortes precisos com ramificada forma característica: galho, folha, coral, relâmpago, bolha de ar comprimida, asa de borboleta etc) se refere a um assunto e transporta o leitor a outra referência no texto sobre aquele mesmo assunto. Seria como uma espécie de buraco de Alice que se encarrega de levar a outra dimensão no mesmo país das maravilhosas ramificações fractais, cujo fundo de papel colorido contrastaria com a ausência de cor dada pelo que não há, a cor do inexistente, da passagem entre dois semi-mundos." (S.T.)

My light experiments do not directly relate to the theme of the birth of branched forms, as the photographs naturally show. However, these tests arose from the need to understand the behavior of light when it runs through some materials or media. Preliminary results were important for the installation artwork Transgenesis Floating (FT), in which light runs through the pieces of acrylic, drawing multiplications virtual forms of biomechanical work itself.

"The mobility of static: I fooled myself to think that corals were immobile. There are the average mobility corals such as brain-like ones and those of low mobility, such as red corals, which by virtue of its intense ramifications interests me a lot. In their slow and subtle movements, they receive nutrients, they negotiate partnerships with other marine beings and they dance the ballet according to the inviting warm tides." (S.T.)

"Between dimensions, immersed in the text: I imagine 'buttons' graphically set amidst the theoretical discourse. Each 'button' (i.e stamps/precise cut knives with branched characteristic shape: twig, leaf, coral, lightning, compressed air bubble, butterfly wing etc) refers to a subject and transports the reader to another reference in the text on that same subject. would be like a kind of hole that Alice is in charge of bringing another dimension in the same country the wonderful ramifications fractals, whose background of colored paper assay with the absence of color given by that there is, color missing, the passage between two semi-worlds." (S.T.)

Experimentos cinéticos [Kinetic experiments]

Iniciei visualizando uns raios de Sol que perpassavam alguns metros mar abaixo: acima, aquele clarão emulando uma luz ao fim do túnel de água; e abaixo, uma formação de corais coloridos, intrigantemente ramificados.

Neste minúsculo recife, os corais não estavam sozinhos; ao invés disso faziam parte deste rico ecossistema com anêmonas, águas vivas, peixes coloridos, ouriços e pepinos-do-mar, dentre uma variedade de outras espécies.

Depois de debruçar-me em longas jornadas teóricas sobre o tema, eu estava disposta a entender, por meio do trabalho efetivo das minhas próprias mãos, o movimento de alguns destes seres incríveis, que, portando em sua estrutura os vestígios do seu padrão de crescimento, instigam meu olhar no sentido de compreender as possíveis aplicações daqueles princípios na concepção de uma nova forma de projetar espaços arquitetônicos, talvez... embora trabalhando principalmente no campo experimental de pura arte-instalação.

Para tanto, separei as imagens de referência em três classes:

1. as estruturas ramificadas fixas;
2. as de movimento extremamente limitado; e
3. as com amplitude de movimento moderado.

A partir daí, visando traçar uma linha de raciocínio acerca dos padrões de crescimento das estruturas que levavam às possibilidades de movimento inerentes a uma dada espécie, refinei em sub-categorias:

1. as ramificações biológicas bidimensionais;
2. as ramificações biológicas tridimensionais; e
3. espaços arquitetônicos que se valeram do conceito de repetição fractal.

I started by visualizing some Sun rays that passed a few meters below the sea: above, that glare emulating a light at the end of the tunnel of water, and below, a colorful coral formation, intriguingly branched.

In that tiny reef, the corals were not alone, they were instead part of a rich ecosystem with sea anemones, jellyfishes, colorful fishes, sea urchins and sea cucumbers, among a variety of other species.

After dwelling long journeys on the subject theory, I was willing to understand through the effective work of my own hands the movement of some of these incredible beings who, carrying in their structure traces of their growth patterns, they instigate my eyes in order to understand the potential applications of those principles in a new way of designing architectural spaces, perhaps... although mainly working on a pure installation artwork experimental field.

Therefore I separated image references into three classes:

1. the fixed branching structures,
2. the ones prone to very limited movement, and
3. those that can move more freely.

From those classes on, as I was seeking to draw a line of reasoning about the growth patterns of structures, I ended up refining them into sub-categories:

1. two-dimensional branching biological;
2. three-dimensional branching biological structures; and
3. architectural spaces that took advantage of the concept of fractal repetition.

Inspirada por estudos de geometria marinha, modelados hiperbolicamente em crochê pela bióloga Margareth Wertheim e pela sua irmã-gêmea artista Christine, parti para modelos de anêmonas, em especial aquelas espécies que se movimentam conforme a maré, em referência ao objeto real que garante a maior parte de sua movimentação devido à circulação de outro fluido, a água salgada (movimentos estruturados por cabos de elástico fino que passavam dentro dos canudos).

Em seguida, corais, pensando em enriquecer o artificial “ambiente marinho” da instalação experimental na convivência do modelo inicial com modelos de outras espécies. Fiz cortes diagonais e inseri canudinhos nessas incisões. Logo surgiu uma ‘floresta’ ou um recife de corais.

Ao invés de um conjunto de modelos em sinfonia, busquei desenvolver adaptações à forma real, como que fossem corais ornamentais ou arquitetonicamente biônicos. Experimentei diversos encaixes, em tais configurações que pudesse fazer alusão a séries de Fibonacci. Mas preferi meus serezinhos livres a se movimentar segundo as marés e os nutrientes disponíveis no meio.

Retomando intuitivamente experimentações com juntas, testei outros materiais como miçangas e bolinhas plásticas perfuradas, de diâmetros diversos.

E para estruturá-los, ripas de madeira de cedro, que em sua robustez acabaram mostrando que não se adequavam à proposta dos corais vermelhos, que deveriam parecer dançar lentamente ao ritmo das ondas ecoadas no espaço marinho.

Cheguei à conclusão de que materiais hospitalares poderiam servir ao propósito da pesquisa por translucidez e extensiva gama de espessuras. Preparei alguns testes preliminares com borracha do tipo tripa de mico coloridas de estrutura mórbida, mas foram cânulas hospitalares de silicone usadas nas sondas e traquéias plásticas que deram parcialmente conta dos meus questionamentos e a solução final encontrada para estruturar os espaços foi a montagem do modelo usando cabos de fibra de carbono transparente.

Inspired by studies of marine geometry modeled hyperbolically in crochet by the biologist Margaret Wertheim and her artist twin sister Christine, I started with anemones models, in particular those species that move according to tides, in reference to the real object that guarantees most of its drive due to the movement of other fluid, salty water (movements structured by thin elastic cables passing inside the straws).

Then, corals, because I was thinking of enriching my artificial “marine environment” of the experimental installation in coexistence of the initial model with new models of other species. I made diagonal cuts and inserted other straws in these incisions. There soon became a ‘forest’ or a reef of corals.

Instead of a set of models in symphony, I sought to develop adaptations to the real ones, as if they were ornamental coral or architecturally bionic. I tried several notches in such settings that could allude to the Fibonacci series. But I ended up preferring my little beings free to move according to the imaginary tides and the nutrients available in the medium.

Resuming studies intuitive joints, I tested other materials like beads and perforated plastic balls of various diameters.

And to structure them, strips of cedar wood, which did not fit their robustness of the proposed red corals, which seemed to dance slowly to the rhythm of the waves echoed in the marine space.

I concluded that the medical materials could serve the purpose of searching for translucency and extensive range of thicknesses. I prepared a few preliminary tests with rubber casing colorful morbid structure, but medical silicone tubes were used in plastic tubes and trachea which have partially account of my questions and the final solution to structure the spaces was found by assembling the model using transparent carbon fiber.

Reproduzi exaustivamente este processo em todos os pequenos corais, para que eles pudessem ter resultado visual em brincadeiras com projeções de sombras em movimento e sob a água, dentro de uma caixa de acrílico transparente: um micro-mundo, submerso, razoavelmente livre, movendo-se à mercê das ondas e correntes de improviso, simuladas por mim, uma sonoplastia efemeramente arquitetônica para paradoxalmente trazer o silêncio do fundo do mar.

I exhaustively reproduced this process in all small corals, so that they could have visually resulted in toys with projections of moving shadows and under water inside a transparent acrylic box: a micro-world, submerged, reasonably free, moving at the mercy of the waves and impromptu tides simulated by me, after all, an ephemeral sound designed to paradoxically bring along the silence of the sea.

“Floating Transgenesis (FT)”: Base para experimento estético-sensorial em escala humana

O experimento Floating Transgenesis inicialmente pesquisaria o uso de inovações tecnológicas na criação de estruturas de ramificação artificiais, como seus padrões de construção podem ser otimizados com o uso da geometria fractal. Porém, "Transgênese flutuante (FT)" se tornou uma estrutura zoomórfica mutante projetada e prototipada por mim.

O programador de TI Hedesson Barreto colaborou nas áreas de programação de interações das contribuições apresentadas por usuários da interface de internet em tempo real (ainda em fase inicial) e os engenheiros mecatrônicos Victor Tayra e David Julio da Costa colaboraram na robótica dos movimentos e sensores, especialmente na relação com a biomimética.

O experimento é "transgenicamente" estruturado pela união das estruturas ramificadas morfológicas de uma ou mais espécies com as possibilidades cinéticas de outros seres biológicos que poderiam adicionar até movimentos mais amplos de complexidade.

Algoritmos matemáticos parecem ser limitados a reproduzir a complexidade biológica, dado por necessidades muito amplas os seres buscam atender, mas as estruturas minerais que não têm nada a ver com a vida também apresentam bastante semelhantes padrões de ramificação aos resultou de morfogênese bio-celular.

Pode-se misturar os padrões de crescimento a partir de origens diferentes estrutura, a fim de criar uma nova vida artificial?

Quais as possibilidades de criação de espécies transgênicas de vida artificial que tomam forma inspirada por uma estrutura particular enquanto se cineticamente imitar os outros?

Seria possível permitir a percepção das passagens de tempo e latejar, em termos estruturais, a relação entre o exterior mundos e interior de cada um?

Early the experiment Floating Transgenesis would research the use of technological innovations in the creation of artificial branching structures and how their construction patterns might be optimized by the use of fractal geometry. However “Floating Transgenesis (FT)” became a mutant zoomorphic structure designed and prototyped by me.

The programmer IT Hedesson Barreto collaborated in the areas of programming interactions of contributions submitted by users of the web interface in real time (still in the beginning) and mechatronic engineers Tayra Victor Julio da Costa and David collaborated in sensors and robotic movements, especially in relation to biomimetics.

The experiment is “transgenically” structured by the union of the branched morphological structures of one or more species with the kinetic possibilities of other biological beings that could add up broader complexity movements.

Mathematical algorithms seem to be limited to reproduce biological complexity, given by very broad needs the beings seek to meet, but mineral structures that have nothing to do with life also present quite similar branching patterns to those resulted from bio cell morphogenesis.

Can one mix growth patterns from different structure origins in order to create artificial new life?

What are the possibilities of creating transgenic species of artificial life that take shape inspired by a particular structure while up kinetically mimic others?

Would it be possible to allow the perception of the passages in time and throb, in structural terms, the relationship between the worlds exterior and interior of each one?

Poderia uma instalação aumentar a nitidez nas relações entre detalhes visuais de estruturas do corpo humano e outros sistemas da natureza?

Esta experimentação estética polidimensional surge de um desejo de construir mutações em uma instalação que tem ramificações forma em sua configuração inicial, mas é constantemente alterado de acordo com os seguintes tipos de interações: som, transeuntes e ambiente climático.

Ela foi criada para funcionar em transformações no espaço ao longo do tempo, enquanto está estruturalmente concatenada por princípios de crescimento, ramificação dadas por padrões presentes nos mundos naturais exterior (árvores, corais, algas, rachaduras relâmpago, e formações de metal dentro de gemas) e interior (neurônios, brônquios, alvéolos, ramificações capilares sanguíneos e desnaturação de proteínas).

O que a princípio parece ser ritmos frágeis e delicados de um mock-up acaba sendo a força motriz capaz de transformar e reciclar uma configuração inicialmente encontrada pelos olhos do visitante. Uma estrutura em um balé sutil que se desdobra em elegância alegre de acordo com cada nova interação.

Could an artwork sharp issues concerning the relationships between visual details of structures of the human body and other nature systems?

This polidimensional aesthetic experimentation arises from a desire of build mutations in an installation artwork that has branched form in its initial configuration but it is constantly altered according to the following types of interactions: passersby, sound and climatic environment.

It is meant to work on transformations in space over time, while it is structurally concatenated by principles of growth, branching data for patterns present in the natural world outside (trees, corals, cracks, lightning, algae and metal formations inside gems) and the inner world (neurons, bronchi, alveoli, blood capillaries ramifications and denaturing protein).

What at first seems to be fragile and delicate rhythms of a mock up ends up driving force able to transform and recycle configuration initially found by the eyes of the visitor. A structure in a subtle ballet that unfolds in joyous elegance according to each new interaction.

Materiais & Métodos [Materials & Methods]

Alguns dos conceitos envolvidos no processo criativo e procedimentos de construção, tais como suas propriedades biomecânicas, os materiais ecologicamente escolhidos e as experiências sinestésicas são resumidas como segue:

Forma: "biomas artificiais" espacialmente dispostas em um conjunto de configuração helicoidal

Número de elementos: 8 conjuntos de tarântulas, totalizando 50 grupos, 8 centopéias verticais, 3 Aeroponic papoulas cultivados acompanham verticalmente transeuntes e 6 proteína desnaturação.

Vinte e cinco grupos executado em material translúcido sob a impressão de flutuar no ar. A razão para isso é que as artificiais "biomas" será anexado ao teto e ao chão por cabos de aço finas o suficiente para suportar seu próprio peso e da eletrônica de potência que as respostas robóticas.

Existe a possibilidade de fazer um âncoras alguns extras entre os artificiais "biomas", paredes e escadas, pois isso resulta em cabos mais finos e melhorar a impressão de flutuar no ar.

Espelho duplo é liquidada no chão e no teto, de modo que as imagens infinitas ramificações são geradas virtualmente.

Elementos relacionados

Abstracção poética formada a partir da união dos elementos morfológicos de uma espécie com a cinética de uma outra espécie.

Tarantula *: elemento representado por ramos de corais sintéticos que imitar os movimentos de uma aranha.

* Proteína: A forma geométrica de uma proteína que tem movimentos cambaleantes.

* Centipede: elemento representado pelo corpo de uma centopéia e os movimentos de seus pés em formas onduladas.

Some of the concepts involved in the creative process and building procedures such as their biomechanics properties, the ecologically chosen materials and the synesthetic experiences are summed up as follows:

Shape: "Artificial biomes" spatially disposed in an helicoidal configuration set

Number of elements: 8 sets of tarantulas, totalling 50 groups, 8 vertical centipedes, 3 aeroponic cultivated poppies accompanying vertically passersby and 6 denaturing protein.

Twenty-five groups run on translucent material under impression of floating in the air. The reason for this is that the artificial "biomes" will be attached to the ceiling and the floor by steel cables thin enough to withstand its own weight and the electronics that power the robotic answers.

There is a possibility of making a few extra anchors between the artificial "biomes", walls and stairs, because this results in thinner cables and enhance the impression of floating in the air.

Double mirror is settled on the floor and up on the ceiling so that infinite branching images are generated virtually.

Related Elements

Poetic abstraction formed from the union of morphological elements of a species with the kinetics of another species.

*Tarantula: element represented by synthetic coral branches that emulate movements of a spider.

*Protein: geometric shape of a protein that has wobbly movements.

*Centipede: element represented by the body of a centipede and movements of their feet in wavy shapes.

Movimentos e Synaesthesia

Uso de fio muscular e liga de memória para amenizar e naturalizar movimentos robóticos em uma intervenção que visa responder diretamente para as sutilezas da presença humana.

Rotação de cotovelo de cada agrupamento de peças cortadas feitas de ETFE (Etileno tetrafluoretileno, um plástico de flúor baseado) em estrutura ramificada, regido por servo motores ativados por sensores de movimento.

Flexão do cotovelo grupos inscritos braço de acordo com a intensidade e a velocidade de aproximação visitante.

LED explosão de luz de dentro para fora, em um bioma particular quando o circuito elétrico é fechado, ativando os sensores presença quando quatro visitantes aproximar do bioma no mesmo nicho.

Ativação de sons da natureza no ambiente através da aproximação de um determinado "dispositivo bioma" e disponível para reinício de outro som somente após o primeiro terminou, evitando conflitos e poluição sonora.

Elevação e estabilização do vaso de cultivo da papoila aeropônico (absorção de água por pulverização ultra-sônica raízes que a água).

Os materiais para a construção da estrutura principal de objetos

Resíduos ETFE e acrílico: para ser usado em protótipos e estudo inicial de um espaço. Características de ETFE: densidade: 1,20. cristalinidade muito baixa, termoplástico, clara, incolor. Propriedades notáveis de ETFE: semelhança ao vidro, altamente resistente ao impacto, boa estabilidade dimensional, boas propriedades elétricas, boa resistência ao fluxo sob carga e à prova de intempéries, resistente à chama.

Garrafas PET: incolor e transparente: o uso do fio, o uso do bico e uso do corpo min estruturais e água reflexão / refração experimentos por LED.

Movements and Synaesthesia

Use of muscle wire and memory alloy to soften and naturalize robotic movements in an intervention that aims to respond directly to the subtleties of human presence.

Elbow rotation of each grouping of cut pieces made of ETFE (Ethylene tetrafluoroethylene, a fluorine based plastic) in branched structure, governed by servo motors activated by motion sensors.

Flexion of elbow-attached arm groups according to the intensity and speed of visitor approach.

LED light explosion from the inside out in a particular biome when the electrical circuit is closed by activating sensors presence when four visitors approach the biome in the same niche.

Activation of nature sounds in the environment through approximation of a given "device-biome" and available for re-start of another sound only after the first is finished, avoiding conflicts and sound pollution.

Lifting and stabilizing of vessel aeroponic poppy cultivation (absorption of water by ultrasonic spray that water roots).

Materials for construction of the main structure of objects

ETFE and acrylic waste: to be used in prototypes and initial study of space. Characteristics of ETFE: density: 1.20. very low crystallinity, thermoplastic, clear, colourless. Remarkable properties of ETFE: resemblance to glass, highly resistant to impact, good dimensional stability, good electrical properties, good resistance to flow under load and weather-proof, flame resistant.

PET Bottles: colourless and transparent: Use of the thread, use of the nozzle and use of the min body for structural and water reflection/refraction experiments by LED.

Cabo de aço.

Médicos tubos de silicone.

Sinestesia

Aroma: aroma de floresta emitida por pulverização ultra-sônica.

Toque: a percepção de materiais que convidam toque como silicone, látex e ETFE.

Cor: predominantemente transparente e translúcido, exceto, claro, por papoula clorofila verde e cabo de aço muito fina prateada.

Som: O som é desencadeada por sensores de ocupação que se encontram no cabo de aço, na base de cada objeto, começando assim uma música que recorda o contexto de biomas, começando logo após a outra extremidade do primeiro.

Movimento: O movimento também é feito por desencadear sensores de presença, iniciando assim os movimentos das articulações, vira e treme. Estas reações combinado a essência do movimento presente em algumas estruturas encontradas na natureza em resultado de fusões transgênicas.

Iluminação: A iluminação é demonstrada em cada elemento de uma forma particular expressando suas peculiaridades.

* Tarântula: Juntamente com seus movimentos de LEDs articulados são movidos em suas extremidades que acentuam a percepção do movimento.

* Proteína: Impulsionada por uma vibração que causa o efeito de tremor, com sua iluminação sincroniza os movimentos refletidos em sua estrutura, mostrando as alterações de configuração que ocorrem em suas primárias, secundárias, terciárias e quaternárias desenvolvimentos.

* Centípede: Ao contrário dos outros elementos da proposta, o seu efeito de luz é invertida e que ocorre a partir de dentro para fora. Ele também desencadeou em sincronia com os movimentos e iluminação refere-se aos ritmos de movimentos que podem ser executadas por um backbone.

Steel cable.

Medical silicone tubes.

Synaesthesia

Aroma: smell of forest emitted by ultrasonic spray.

Touch: perception of materials that invite touch such as silicone, latex and ETFE.

Color: predominantly transparent and translucent, except of course by chlorophyll green poppy and very fine silvery steel cable.

Sound: The sound is triggered by occupancy sensors that are in the steel cable at the base of each object, thus beginning a song that recalls the context of biomes, starting another just after the end of the first.

Movement: The movement is also done by triggering presence sensors, thereby initiating the movements of joints, turns and shakes. These reactions combined the essence of movement present in some structures found in nature result in transgenic mergers.

Lighting: The lighting is demonstrated in every element of a particular form expressing their peculiarities.

* Tarantula: Together with their pleadings movements LEDs are driven at their ends accentuating the perception of motion.

* Protein: Driven by a vibration that causes the effect of tremor, with its lighting synchronizes the movements reflected in its structure, showing the configuration changes that occur in their primary, secondary, tertiary and quaternary developments.

* Centipede: Unlike the other elements of the proposal, its light effect is reversed and it occurs from the inside out. It also triggered in sync with her movements and lighting refers to the rhythms of movement that can be performed by a backbone.

Interface entre "Humano - Máquina - Espaço"

HMI interface é o canal de comunicação entre o ser humano e automatizado sistema mecânico que permite a interação entre eles.

Em outras palavras, é a parte do sistema automatizado de que a pessoa está em contato físico, perceptual e conceitual.

Pode-se classificar em três ondas conceituais neste tema desde seu cunho por Donald Norman em 1970:

1ª - voltada para fatores humanos. Estudo do usuário como um conjunto de mecanismos de processamento de informação. Foco no indivíduo. Criação de guias para desenvolvimento de interfaces, métodos formais e testes sistemáticos.

2ª - voltada para atores humanos. Foco em grupos. Abordagens qualitativas em detrimento das quantitativas, Prototipação e design contextual. Natureza holística da pessoa em dado ambiente.

3ª - foco em aspectos culturais e estéticos. Expansão do cognitivo ao emocional. Fatores pragmáticos sociais da experiência. Tecnologias ubíquas, móveis e pequenas. Tecnologia extrapola os limites do contexto de trabalho e passa a fazer parte da cultura, vida e casa das pessoas.

Os sensores são usados para detectar a presença da interface de utilizador através de humano - espaço de máquina - e os atuadores são utilizadas para responder a estímulos dos sensores.

Os sensores do sistema várias identificar o que se passa no ambiente e alimentar esta informação para o micro controlador. O projeto eleger os seguintes sensores:

Interface between "Human - Machine - Space"

HMI interface is the communication channel between human and automated mechanical system that enables the interaction between them.

In other words, it is the part of the automated system that the person comes into physical, perceptual and conceptual contact.

Three conceptual waves can be classified in this theme since its imprint by Donald Norman in 1970:

1st - focused on human factors. Study the user as a set of mechanisms of information processing. Focus on the individual. Establishment of guidelines for interface development, formal methods and systematic testing.

2nd – focused on human actors. Focusing groups. Qualitative approaches to the detriment of quantitative. Prototyping and contextual design. Holistic nature of the data given environment.

3rd - focus on cultural and aesthetic aspects. Expanding from the cognitive to the emotional areas. Pragmatic social factors of experience. Ubiquitous technologies, mobile and small. Technology goes beyond the limits of the work context and becomes part of the culture, life and people's homes.

The sensors are used to detect the presence of the user interface through human - machine space - and actuators are used to respond to stimuli from the sensors.

The various system sensors identify what is happening in the environment and feed this information to the microcontroller. The project elected the following sensors:

Sonar: inspirado na natureza, tais como morcegos, este sistema de ajudas à navegação e detecção de movimentos. O princípio básico de funcionamento é a emissão e recepção de ultra-sons (ondas mecânicas de alta frequência) que se propagam para o meio ambiente.

Quando existe uma barreira, estas ondas são reflectidas e capturada pelo receptor. Assim, é possível detectar a presença de pessoas no ambiente, e também a sua distância ao sistema, por exemplo.

Sensor infravermelho: Uma luz invisível aos humanos, é emitido por um transmissor e sensor capturado por um outro sensor, chamado receptor. Se este feixe de luz é interrompida devido à presença de uma pessoa, por exemplo, um sinal é gerado.

Apesar de infravermelho é invisível para os seres humanos, este é um princípio utilizado por alguns animais, incluindo uma cascavel que pode ver a luz na faixa do infravermelho e usa esta habilidade para detectar a sua presa.

Sensor de temperatura: LM35 serão utilizados sensores fabricados pela National Semiconductor Corporation, com o objetivo de verificar a variação da temperatura no sistema.

A partir de sensores de entrada de dados, o microcontrolador interpreta os dados e define qual ação deve ser tomada. O desenho de microprocessador foi escolhido para a placa Arduino Mega 1280, devido ao tamanho de memória disponível, a facilidade de manuseamento, plataforma de programação livre, e também pelo baixo custo.

Finalmente, esta informação é enviada para os gatilhos de saída que realizam tarefas específicas para permitir que os movimentos e as respostas do sistema. Motores, servo-mecanismos, LEDs ultra-sônicas, atuadores e refrigeradores, como os usados em computadores pessoais foram eleitos como titulares, visando as experimentais cinético-sensoriais efeitos descritos anteriormente neste ensaio.

Sonar: inspired by nature, such as bats, this system aids in navigation and detection of movements. The basic principle of operation is the emission and reception of ultrasonic (high frequency mechanical waves) which propagate into the environment.

When there is a barrier, these waves are reflected and captured by the receiver. Thus it is possible to detect the presence of people in the environment and also its distance to the system, for example.

Infrared Sensor: An invisible light to humans is emitted by a transmitter and sensor captured by another sensor, called receptor. If this beam of light is interrupted due to the presence of a person, for example, a signal is generated.

Although infrared is invisible to humans, this is a principle used by some animals, including a rattlesnake that can see light in the infrared range and uses this ability to detect their prey.

Temperature sensor: LM35 will be used sensors manufactured by National Semiconductor Corporation with the objective of verifying the temperature variation in the system.

From data input sensors, the microcontroller interprets the data and defines what action should be taken. The microprocessor design was chosen for the Arduin Mega 1280 due to the size of available memory, ease of handling, programming platform free and also low cost.

Finally, this information is sent to the output triggers that perform specific tasks to allow movements and system responses. Motors, servo-mechanisms, LEDs, ultrasonic actuators and coolers like those used in personal computers were elected as starters, targeting the experimental kinetic-sensory effects described earlier in this essay.

As matrizes mutáveis de estruturas ramificadas na natureza e no corpo, na imaginação do visitante, lentamente deixa seu movimento em algum momento mágico passando imperceptivelmente para o campo de imagens.

Após esta fase, a fim de alcançar estes objetivos poéticos, o trabalho desenvolvido começou a hospedar um apoio técnico interdisciplinar, por exemplo através da inserção de estrutura robótica com canais vazios cujas interior contém a instalação de cabos eléctricos que respondem aos sensores, adicionando a dimensão de um desenho complexo.

A investigação em curso experimental está testando uma interface de programação de Internet para que os usuários de internet estão autorizados a interagir em tempo real com a instalação, a ampliação dos tipos de interação propostos até agora: a presença do clima, e de ruído. FT pode precisar voltar para uma visita, a fim de manter-se com notícias sobre o experimento.

The mutable arrays of branched structures in nature and in the body, in the imagination of the visitor, slowly ceases its motion at some magical moment passing imperceptibly into the field of pictures.

After this phase, in order to achieve these poetic goals, the work started hosting an interdisciplinary technical support, for example by inserting robotic structure with empty channels whose interior contains installing electrical cables that respond to sensors, adding the dimension of a complex design.

The ongoing experimental research is testing an Internet Programming Interface so that internet users are allowed to interact in real time with the installation, broadening the kinds of interaction proposed so far: climate, presence and noise. FT might need to come back for a visit in order to keeping up with news on the experiment.

alavanca intermediária - vistas frontal e lateral

eixo

suporte do braço - vista superior

braço 1 - vistas frontal e superior

alavanca superior - vistas frontal e lateral

alavanca inferior - vistas frontal e lateral

CAPÍTULO [CHAPTER] 7

Inovação tecnológica contextualizada [Technological innovation in context]

Esta seção aborda sucintamente possíveis influências das ramificações em práticas estruturais recentes ou ainda por vir apontando direções em que esta pesquisa poderá contribuir.

Este tipo de prática de projetualidade por analogia com a natureza teve início com J.G.Wood, um reverendo que já em 1870 publicou estudos sobre a arquitetura animal e no século XX, D'Arcy Thompson foi o pesquisador mais importante nesta área.

A partir da análise estática das imagens realizadas experimentalmente, da observação de alguns desses sistemas ou organismos em movimento e da abstração alcançada por meio dos experimentos, dei início à construção de uma teia de contextos em que as ramificações se mostrariam uma forma (e método) de interesse.

Penso nas possíveis aplicações dos sistemas ramificados em contextos em que a forma e a função vem juntas, não havendo distinção, analogicamente falando, entre pele, ossos e sistemas circulatório, nervoso ou excretório. Assim, as estruturas ramificadas abririam caminho para novas formas de percepção espacial e funcional de um dado ambiente.

Este trabalho não se detém a questões inerentes à arquitetura tradicionalmente falando, mas não poderia deixar de mencionar brevemente algumas possibilidades construtivas, onde as ramificações são uma forma de solução estrutural que traz consigo algumas vantagens práticas, além de expressão conceitual.

Na associação discreta pilar x pilar por ramificação ocorre que os pilares mais robustos são gradativamente subdivididos em outros pilares menores, para que ocorra a diminuição dos vãos da estrutura sustentada de pilares na base (REBELLO, 2000: 180).

This section addresses likely branching influences in recent or incoming structural praxis pointing out directions where this research may contribute.

This type of practice projectuality by analogy with nature began with J.G. Wood, a reverend who published studies on animal architecture as early as 1870 and in the twentieth century, D'Arcy Thompson was the most important researcher in this area.

From the analysis of static images performed experimentally observing some of these systems or bodies in motion and abstraction achieved through experiments, I started to build a web of contexts in which the ramifications would prove one way (and method) of interest.

I think of possible applications of the branching systems in contexts where form and function come together, where there would be no distinction, analogously speaking, between skin, bones, and circulatory, nervous or excretory systems. Thus, the branched structures would open the path for new ways of spatial and functional perception in a given environment.

This work does not stop at the issues inherent architecture traditionally speaking, but it could not fail to mention briefly some constructive possibilities, where the branches are a form of structural solution that brings some practical advantages, and conceptual expression.

In association discreet pillar by pillar x branching occurs more robust pillars that are gradually broken down into other smaller pillars, so that it happens to fall in vain structure sustained pillars at the base (REBELLO, 2000: 180).

Para atender às necessidades de cada usuário, a estrutura ramificada permite *per se* uma infinidade de áreas e volumes, particulares ao contrário das limitações da malha cartesiana amplamente usada nos métodos de construção civil. Imagino estruturas que ao mesmo tempo constituam paredes e armários, suportes e divisórias, em resumo, penso na arquitetura ramificada como a arquitetura das integrações, dos encontros.

Seguem alguns exemplos de contextos em que as estruturas ramificadas poderiam contribuir:

- Baseando-se nos padrões de crescimento da pele humana, projeto de ramificação de estrutura para aquecimento de piso: eficiência estrutural pela minimização de material, graças ao modo eficaz de atingir pontos distantes no plano;
- Baseando-se nos alvéolos pulmonares, projeto para maximização da capacidade para captação da chuva para reuso no caso de pontos de coleta vantajosamente distribuídos em um dado volume;
- Pára-raios que possam abranger maior área;
- Baseando-se na flexibilidade de corais moles, projeto para balanceamento da estrutura predial mediante movimentos de placas tectônicas;
- Baseando-se nos padrões de correntes marítimas, estrutura mais coerente sob ação do vento;
- Baseando-se na distribuição de feixes de fibras em algumas plantas, projeto para alternativamente substituir colunas verticais robustas por grupo maior de estruturas com a mesma função;
- Baseando-se na flexibilidade dos galhos de árvores diante das intempéries da natureza, projeto de móveis que responderiam a necessidades do usuário, mediante uso de sensores de presença, por exemplo: um armário inteligente, em que diante da necessidade de que uma camisa desça, uma calça sobe, equilibrando o espaço total;
- Para passagem seletiva da luz, persianas estruturais em formas ramificadas;
- Pressão hídrica ramificada sob a plataforma da casa, para que, os acessos aos diversos ambientes pudesse ser realizado independentemente.

To meet the needs of each user, the branched structure *per se* allows a multitude of areas and volumes, particular unlike the limitations of Cartesian mesh methods widely used in construction. I imagine that while structures constitute walls and cabinets, brackets and tabs, in short, I think the branched architecture as the architecture of the integrations, the encounters.

Here are some contexts in which the branched structures could contribute:

- Based on the growth patterns of human skin, branching structure design for underfloor heating: structural efficiency by minimizing material, thanks to an effective way to reach distant points in the plan;
- Based on the pulmonary alveoli, design for maximizing the ability to capture rainwater for reuse in case advantageously distributed collection points into a given volume;
- Lightning arresters that can cover a larger area;
- Based on the flexibility of soft corals, to design the building structure by balancing movements of tectonic plates;
- Based on the patterns of ocean currents, more coherent structure under wind load;
- Based on the distribution of fiber bundles in some plants, project to alternatively replace the robust uprights for a larger group of structures in the same function;
- Based on the flexibility of the branches of trees before the storms of nature, furniture design that would respond to user needs by using occupancy sensors, eg a smart closet, when there is the need for a shirt to go down, for example, a pair of trousers goes up, balancing the total space required;
- For selective passage of light, structural blinds in branching shapes;
- Branched water pressure under the deck of the house, so that accesses to different environments could be done independently.

CAPÍTULO [CHAPTER] 8

Considerações finais e o olhar adiante [Final thoughts and looking forward]

Um dos encantos da pesquisa científica é o contraste entre sua generalidade e sua aplicabilidade aos concretos problemas cotidianos. Processos de ramificação são típicos nisto. Seu nicho de matemática é o modelo abstrato de reprodução, conjuntos de indivíduos que mudam de tamanho e composição, através do que seus membros reproduzem. Mesmo no desempenho de algoritmos para separação e classificação existe uma indicação de padrão.

Por meio de níveis estruturados por robustas ou finíssimas ramificações construídos com materiais mais sustentáveis, ao invés da malha cartesiana de concreto ou aço, mais amplamente utilizados na atualidade, almejo que a nova arquitetura que está por vir, quem sabe ainda em meados do século XXI, esteja mais conectada entre o ser humano e o que o mundo natural pode oferecer de mais estético, estruturalmente eficiente e flexível/adaptável a novos anseios de cada usuário.

Os depoimentos pessoais no texto trataram, direta ou indiretamente, de um tipo de "arquitetura da delicadeza". São advindos ora de meus deslumbres sonhados em noites poéticas, ora de minhas lembranças de infância, ora de reflexões a partir de textos sobre biotecnologia ou mesmo medicina.

Intercaladamente ao discurso apresentei imagens que realizei durante essas incursões pelo mundo natural, e que foram fotografadas experimentalmente por mim. Esta soma formou o arcabouço de conceitos para concepção das experimentações estéticas.

Embora palavras, croquis e fotografias ainda se façam presentes neste texto em forma de fragmentos do discurso, desejo que no imaginário do leitor este conjunto adquira o caráter de unicidade, seja por um discurso linear, seja pela organização de uma rede em que o leitor visualize nitidamente o conjunto das ideias imbuídas ao texto.

One of the charms of scientific research is the contrast between its generality and its applicability to concrete everyday problems. Branching processes herein are typical. His niche is the mathematical abstract model of reproduction, sets of individuals that change size and composition through its members reproduce. Even in the performance of algorithms for classification and separation is an indication standard.

Through structured by robust levels or branches built with finest sustainable materials, instead of the Cartesian mesh concrete or steel widely used nowadays, crave that new architecture that is to come, maybe even in the middle of the century, is more connected between humans and the natural world can offer more aesthetic, structurally efficient and flexible / adaptable to new expectations of every user.

The personal testimonies in the text dealt directly or indirectly with a certain "delicacy of architecture". They are now coming from my stunning dreamed nights in poetic, sometimes my childhood memories, sometimes reflections from texts about biotechnology or medicine.

Interchangeably to the discourse, I presented images that produced during these incursions by the natural world and that were experimentally photographed by myself. This sum brings out the framework of concepts for the design of the aesthetic experiments.

Although words, sketches and photographs to be present even in the text-shaped fragments of speech, I wish that this group acquire the character of oneness in the imaginary mind of the reader, be it either by speech linear or by the organization of a network in which the reader clearly visualizes the set imbued with the ideas of the text.

Espero que as ideias apresentadas ao longo deste trabalho constituam o embrião de uma nova forma de pensar a estrutura e o processo construtivo, forma essa em que busquei colaborar ao longo do desenvolvimento desta tese de doutorado.

No prefácio de Principia, Newton (1687) afirma que todos os fenômenos da natureza possuem a mesma causa: forças agindo sobre os corpos. Para Newton, existem apenas cinco tipos de forças naturais, a partir das quais todos os fenômenos podiam ser compreendidos.

Em Principia (1687), Newton procurou estudar os movimentos dos corpos celestes e terrestres e utilizou fortes bases matemáticas, com princípios teóricos e leis. Em Opticks (1704), os objetos de estudos foram, como o próprio título indica, os fenômenos ópticos e a natureza da luz com apresentação de resultados experimentais.

Entretanto, pergunto-me ainda: será que as ramificações podem ser determinadas apenas pela combinação dos cinco tipos de forças naturais descritas matematicamente por Newton? A esta resposta ninguém conseguiu ainda chegar. Tudo indica que Newton só tratou mesmo de gravitação e as outras forças são devidas a outros pesquisadores, que vieram unificando o conhecimento separado que havia construído. Mas minha conclusão é que os fenômenos físicos das ramificações tenham mais a ver com sistemas dinâmicos, em que repentinamente o resultado diverge do esperado.

A ramificação geralmente surge, quando há uma razão para maximizar a área total de contato entre uma estrutura e para o ambiente que rodeia, particularmente quando há também uma razão de embalar esta área de contato num pequeno volume, e, de acordo com diversos sistemas orgânicos estudados, há uma considerável vantagem nesta configuração.

Isso indica que as estruturas ramificadas não poderão ser a panacéia para as questões de concepção estrutura nos seus mais diversos âmbitos. Porém, elas abrem possibilidades de interesse para projetos que privilegiam os conceitos estruturais arrojados e a economia de material em detrimento da simplicidade de execução.

I hope the ideas presented along this work constitute the embryo of a new way of thinking about structure and construction process, so that they seek to collaborate throughout the development of this thesis.

In the preface of Principia, Newton (1687) states that all natural phenomena have the same cause: forces acting on the bodies. For Newton, there are only five types of natural forces, from which all phenomena could be included.

In Principia (1687), Newton sought to study the motion of celestial bodies and terrestrial and used strong mathematical basis, with theoretical principles and laws. In Opticks (1704), the objects of study were, as its title indicates the optical phenomena and the nature of light and with the presentation of experimental results.

But still I wonder: shall branching be determined only by the combination of five types of natural forces described mathematically by Newton? The response this nobody has yet come. Everything indicates that Newton dealt only even gravitation and the other forces are due to other researchers who came unifying the separate knowledge he had built. But my conclusion is that the physical phenomena of the branches have more to do with dynamical systems, where suddenly, the result differs from expected.

Branching usually arises when there is a reason to maximize the total area of contact between a structure and the surrounding environment, particularly when there is also a reason to pack this contact area in a small volume, and, according to different organic systems studied, there is a considerable advantage in this configuration.

This indicates that the branched structures may not be the panacea to the issues of structure design in its various spheres. However, they open possibilities of interest for projects that focus daring structural concepts and material savings at the expense of simplicity of implementation.

BIBLIOGRAFIA [BIBLIOGRAPHY]

Praticamente a totalidade de materiais listados nas próximas subseções foi adquirida nos últimos anos por meio do emprego das mensalidades das seguintes bolsas de pesquisa: CAPES no Brasil e EWECW na Itália.

As referências usadas no corpo da tese estão pré-marcadas com asterisco. As demais estão indicadas para que os leitores aprofundem seu entendimento dos tópicos mencionados na tese.

Almost all materials listed in the next sub-sections were acquired in recent years through the use of monthly resources of the following research grants: CAPES in Brazil and EWECW in Italy.

The references used in the thesis body are pre-marked with an asterisk. The others are indicated for the readers to deepen his or her understanding of the topics mentioned in the thesis.

PROCESSOS BIOLÓGICOS DE RAMIFICAÇÃO [BIOLOGICAL BRANCHING PROCESSES]

Livros: Morfogênese e morfologia [Books: Morphogenesis and morphology]

*BERGAN, John J. *The Vein Book*. Burlington: Elsevier Inc., 2007.

*BOURGINE, Paul; LESNE, Annick. *Morphogenesis origins of patterns and shapes*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.

BUSS, L.W. *The Evolution of Individuality*. Princeton: Princeton University Press, 2006.

*DAVIES, Jamie. *Mechanisms of Morphogenesis: the creation of biological form*. Amsterdam: Elsevier, 2005.

*DAVIES, Jamie. *Branching Morphogenesis-Molecular Biology Intelligence Unit*. Georgetown/New York: Eurekah.com/Springer Science+Business Media, Inc., 2006.

EDELMANN, G.M. *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*. New York: Basic Books, 1987.

*EVANS-MARTIN, F. Fay; COOLEY, Denton A. *The Nervous System*. New York: Chelsea House, 2009.

*FOSTER, Adriance. *Comparative Morphology of Vascular Plants*. New York: W H Freeman & Co, 1974.

*GARCIA-RUIZ, J. M., LOUIS, E., MEAKIN, P., SANDER, L. M. (eds), *Growth Patterns in the Physical Sciences and Biology*. New York: Plenum Press, 1993.

*GIFFORD, Ernest M.; FOSTER, Adriance S. *Morphology and Evolution of Vascular Plants*. New York: W. H. Freeman, 1989.

GREGORY, Stewart; COOLEY, Denton A. *The Skeletal & Muscular Systems*. New York: Chelsea House, 2006.

*HACKER, Gerhard; TUBBS, Raymond. *Molecular Morphology in Human Tissues: Techniques and Applications*. London: CRC Press, 2005.

KOCH, Ina; REISIG, Wolfgang; SCHREIBER, Falk. *Modeling in systems biology the petri net approach*. London: Springer-Verlag, 2011.

*KUMAR, Sanjeev; BENTLEY, Peter. *On Growth, Form and Computer*. London: Elsevier Academic Press, 2003.

LECUIT, Thomas. *Tissue Remodeling an epithelial Morphogenesis*. San Diego: Elsevier, 2009.

*LIGHT, Douglas; COOLEY, Denton A. *Cells, Tissues, and Skin*. New York: Chelsea House, 2004.

*MINELLI, Alessandro. *The Development of Animal Form: Ontogeny, Morphology, and Evolution*. Cambridge: Cambridge, 2003.

MOORE, D.; MCNULTY L.J.; MESKAUSKAS, A. 'Branching in fungal hyphae and fungal tissues: Growing mycelia in a desktop computer'. In: DAVIES; J.A., ed. *Branching Morphogenesis*. Georgetown: Landes Biosciences, 2005: 70-85.

PULVERER, Bernd. *Nature cell biology*. London: Macmillan, 2009.

*THOMPSON, D'Arcy Wentworth. *On Growth and Form*. New York: Create Space Independent Publishing Platform, 2011.

VASCONCELOS, Augusto Carlos. *Estruturas da Natureza: Um Estudo da Interface Entre Biologia e Engenharia*. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

*WHITTEMORE, Susan; COOLEY, Denton A. *The Circulatory System*. New York: Chelsea House, 2009.

Periódicos: Morfogênese e morfologia [Periodics: Morphogenesis and morphology]

*BEN-JACOB, E.; GARIK, P. 'The formation of patterns in non-equilibrium growth', *Nature* 343 (1990): 523.

BEN-JACOB, E.;SHOCHET, O.;TENENBAUM, A.;COHEN, I.;CZIROK, A.;VICSEK, T. 'Generic modelling of cooperative growth patterns in bacterial colonies', *Nature* 368 (1994): 46.

CHOPARD, B.; HERRMANN, H. J.;VICSEK, T. 'Structure and growth mechanism of mineral dendrites', *Nature* 353 (1991): 409.

FLEURY, V.; WATANABE, T. "Morphogenesis of fingers and branched organs: How collagen and fibroblasts break the symmetry of growing biological tissue", *C R Biol* 2002; 325: 571-583.

*GOODWIN, B.C., KAUFFMAN, S.A., MURRAY, J.D. Is morphogenesis an intrinsically robust process?, *Journal of Theoretical Biology*, 163, 1993: 135–144.

*GOODWIN, B.C., KAUFFMAN, S.A. 'Spatial harmonics and pattern specification in early *Drosophila* development. Part I. Bifurcation sequences and gene expression', *Journal of Theoretical Biology*, 144, 1990: 303–319.

*GOODWIN, B.C. 'Emergent patterns of morphological transformation'. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la Vie/LifeSciences*, 323, 2000: 15–21.

*GRAVNER, J.; GRIFFEATH, D. 'Modeling snow-crystal growth: a threedimensional mesoscopic approach', *Physical Review E* 79 (2009): 011601.

GROTZINGER, J. P.; ROTHMAN, D. H. 'An abiotic model for stromatolite morphogenesis', *Nature* 383, 423 (1996).

*MAKSE, H. A.;HAVLIN, S.;STANLEY, H. E., 'Modelling urban growth patterns', *Nature* 377 (1995): 608.

*METZGER, R. J.; KRASNOW, M. A. 'Genetic control of branching morphogenesis'. *Science* 1999; 284:1635-1639.

- *Rohlf, F. J. and F. L. Bookstein (eds.). 'Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop'. *Special Publication No. 2*, University of Michigan Museum of Zoology: Ann Arbor (1990).
- *TURING, Alan M. 'The Chemical Basis of Morphogenesis', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. Vol. 237, No. 641 (Aug. 14, 1952), pp. 37-72. Published by: The Royal Society Article Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/92463>

Livros: Padrões de ramificações [Books: Branching patterns]

- BELLONE, Enrico. *La scienza – 10. La mente e il cervello*. Norava: La Biblioteca di Repubblica, 2005.
- *BAK, Per. *How nature works – the science of self-organized criticality*. New York: Springer, 1999.
- BALL, Philip. *The self-made tapestry pattern formation in nature*. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- *BALL, Philip. *Branches: Natures Patterns: a tapestry in three parts*. Oxford university Press: New York, 2009.
- BALL, Philip. *Shapes: Natures Patterns: a tapestry in three parts*. Oxford university Press: New York, 2011.
- *BALL, Philip. *Flow: Nature's Patterns: a tapestry in three parts*. Oxford university Press: New York, 2011.
- *BARABÁSI, A.-L. *Linked: The New Science of Networks*. Cambridge, MA: Perseus, 2002.
- *CRAIG, Catherine L. *Spiderwebs and Silk - Tracing Evolution from Molecules to Genes to Phenotypes*. New York: Oxford University Press, 2003.
- FLEURY, V.; GOUYET, J.-F.; LEONETTI, M. (editors). *Branching in nature*. Les Ulis: EDP Sciences, 2001.
- GARCIA-RUIZ, J. M., LOUIS, E., MEAKIN, P., and Sander, L. M. (editors). *Growth Patterns in the Physical Sciences and Biology*. New York: Plenum Press, 1993.
- *GONZALEZ VELASCO, Miguel; PUERTO, Ines; MARTINEZ, Rodrigo; MOLINA, Manuel; MOTA, Manuel, RAMOS, Alfonso. *Workshop on Branching Processes and their Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- *KAUCZOR, H.-U. *MRI of The Lung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- LIBBRECHT, K., RASMUSSEN, P. *The Snowflake: Winter's Secret Beauty*. Stillwater: Voyageur Press, 2003.
- *NOVAK, Miroslav. *Complexus Mundi - Emergent Patterns in Nature*. New Jersey: World Scientific, 2006.
- *PELCÉ, Pierre. *New Visions on Form and Growth – fingered growth, dendrites, and flames*. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- *STEVENS, P.S. *Patterns in Nature*. London: Penguin, 1974.
- STEWART, I. *What Shape is a Snowflake? Magical Numbers in Nature*. London: Weidenfeld & Nicolson, 2001.
- STOPES, Marie Carmichael. *Botany: or the modern study of plants (classic reprint)*. London: Forgotten Books, 2012.

Periódicos: Padrões ramificados [Periodics: Branching patterns]

BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286, 1999, pp. 509–512.

BARABÁSI, A.-L.; OLTVAI, Z. N. Network biology: Understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews: Genetics*, 5, 2004, pp. 101–113.

BEN-JACOB, E., 'From snowflake formation to growth of bacterial colonies. Part II: cooperative formation of complex colonial patterns', *Contemporary Physics* 38 (1997): 205.

BEN-JACOB, E.; SHOCHET, O.; COHEN, I.; TENENBAUM, A.; CZIRÓK, A.; VICSEK, T., 'Cooperative strategies in formation of complex bacterial patterns', *Fractals* 3 (1995): 849.

*BOHN, S., REOTTI, B., DOUADY, S., MUNZINGER, J., COUDER, Y., 'Constitutive property of the local organization of leaf venation networks', *Physical Review E* 65 (2002): 061914.

BOWMAN, C.; NEWELL, A. C. 'Natural patterns and wavelets', *Reviews of Modern Physics* 70 (1998): 289.

COWIE, P. 'Cracks in the Earth's surface', *Physics World* (February 1997): 31.

*CROSS, M. C.; HOHENBERG, P. 'Pattern formation outside of equilibrium', *Reviews of Modern Physics* 65 (1993): 851.

*DAVIES J.A. 'Do different branching epithelia use a conserved developmental mechanism?', *Bioessays* 2002; 24:937-948.

DEZSÖ, Z., BARABÁSI, A.-L., 'Halting viruses in scale-free networks', *Physical Review E* 65 (2002): 055103(R).

FLEURY, V. Sur une symétrie fondamentale entre la morphogénese et le fonctionnement des organes arborisés. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la Vie/Life Sciences*, 324, 2001: 405–412.

*FLEURY, V., 'Branched fractal patterns in non-equilibrium electrochemical deposition from oscillatory nucleation and growth', *Nature* 390 (1997): 145.

LONG, C. A. 'Leonardo da Vinci's rule and fractal complexity in dichotomous trees'. *Journal of Theoretical Biology* 2004; 167:107-113.

MOROWITZ, H.; SMITH, E. 'Energy flow and the organization of life. Santa Fe Institute Working Papers', available at <<http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/06-08-029.pdf>>.

LIBBRECHT, K., 'The enigmatic snowflake', *Physics World*, January 2008: 19.

LIBBRECHT, K., 'The formation of snow crystals', *American Scientist* 95(1) (2007): 52.

*RINALDO, A.; BANAVAR, J. R.; MARITAN, A. 'Trees, networks, and hydrology', *Water Resources Research* 42 (2006): W06D07.

RODRIGUEZ-ITURBE [et al.], 'Fractal structures as least energy patterns: the case of river networks', *Geophysical Research Letters* 19 (1992): 889.

SHORLING, K. A.; BRUYN, J. R.; GRAHAM, M.; MORRIS, S. W. 'Development and geometry of isotropic and directional shrinkage crack patterns', *Physical Review E* 61, 6950 (2000).

- SULTAN,R.;SADEK,S. Patterning trends and chaotic behavior in $\text{Co}^{2+}/\text{NH}_4\text{OH}$ Liesegang systems *Journal of Physical Chemistry* 100, 1996: 16912.
- SWINNEY, H. 'Emergence and the evolution of patterns', in FITCH, V. L.; MARLOW, Daniel; DEMENTI, Margit. *Critical Problems in Physics*. New Jersey: Princeton University Press, 1997.
- VANHOOK,S.J.; SCHATZ, Michael. 'Simple demonstrations of pattern formation', *Physics Teacher*, October 1997.
- VELLA, D.; WETTLAUER, J. S. 'Finger rafting: a generic instability of floating ice sheets', *Physical Review Letters* 98 (2007): 088303.
- VICSEK, T. 'Construction of a radial Hele-Shaw cell', *Random Fluctuations and Pattern Growth*, ed. H. E. Stanley and N. Ostrowsky. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988, p. 82.
- YUSE, A.; SANO, M. 'Transitions between crack patterns in quenched glass plates', *Nature* 362 (1993): 329.
- WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. 'Collective dynamics of "small-world" networks', *Nature* 393 (1998): 440–442.
- WALTER, Garry. Spider webs: intricate works of art' in *Photographic Society of America PSA Journal*, August, 2005.

PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS RAMIFICADAS [PROCEDURES OF BRANCHING STRUCTURES ANALYSIS]

Livros: Fractais [Books: Fractals]

- ADAM, John. *Mathematics in Nature Modeling Patterns in the Natural World*. New Jersey: Princeton University Press, 2006.
- ADAM, John. *A Mathematical Nature Walk*. New Jersey: Princeton University Press, 2011.
- BARABÁSI, A.-L.; STANLEY, H.E. *Fractals concepts in surface growth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- BARBOSA, Ruy Madsen. *Descobrimos a geometria fractal para a sala de aula*. Belo Horizonte: Autêntica, 2005.
- *BARNSEY, Michael. *Fractals Everywhere*. New York: Dover, 2012.
- BATTY, M., LONGLEY, P., *Fractal Cities*. London: Academic Press, 1994.
- BEN-AVRAHAM Daniel; HAVLIN, Shlomo. *Diffusion and reactions in fractals and disordered systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- BOVILL, Carl. *Fractal geometry in architecture and design*. College Park: Birkhäuser, 1996.
- BROWN, J. H., WEST, G. B. (eds), *Scaling in Biology*. New York: Oxford University Press, 2000.
- EDGAR, Gerald. *Measure, Topology, and Fractal Geometry*. San Francisco: Springer, 2008.
- EGLASH, Ron. *African Fractals: Modern Computing and Indigenous Design*. Piscataway Township: Rutgers University Press, 1999.
- EMMER, Michele (editor). *Mathematics and Culture V*. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

- *FALCONER, Kenneth. *Fractal Geometry Mathematical Foundations*. Chichester: Wiley, 2003.
- HARRIS, James. *Fractal Architecture: Organic Design Philosophy in Theory and Practice*. Albuquerque: University of New Mexico Press, 2012.
- HELMBERG, Gilbert. *Getting Acquainted with Fractals*. Berlin: Walter De Gruyter GmbH & Co, 2007.
- HENDERSON, Harry. *Mathematics Powerful Patterns in Nature and Society*. New York: Chelsea House, 2007.
- IANNACCONE, Philip M; KHOKHA, Mustafa. *Fractal Geometry in Biological Systems – an analytical approach*. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1996.
- JANOS, Michel. *Geometria Fractal*. Rio de Janeiro: Ciência moderna, 2008.
- KAANDORP, Jaap A. *Fractal Modelling Growth and Form in Biology*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- LESNE, Annick; LAGÜES, Michel. *Scale Invariance: From Phase Transitions to Turbulence*. New York: Springer, 2011.
- LÉVY-VÉHEL, Jacques; LUTTON, Evelyne. *Fractals in Engineering: New Trends in Theory and Applications*. Springer, 2010.
- *LIEBOVITCH, Larry. *Fractals and Chaos Simplified For The Life Sciences*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- LOSA, Gabriele; MERLINI, Danilo; NONNENMACHER, Theo; WEIBEL, Ewald. *Fractals in biology and medicine – volume iii*. Basel: Birkhäuser, 2002.
- MANDELBROT, Benoit. *The fractal geometry of nature*. New York: W.H Freeman, 1982.
- *MANDELBROT, Benoit. *Objectos Fractais: forma, acaso e dimensão seguido de panorama da linguagem*. Lisboa: Gradiva, 1991.
- *MANDELBROT, Benoit. *Fractals and Chaos: The Mandelbrot Set and Beyond*. New York: Springer, 2004.
- MANDELBROT, Benoit. *Gaussian self-affinity and fractals*. New York: Springer-Verlag, 2002.
- *MEINHARD, Hans. *The Algorithmic Beauty Of Sea Shells*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- *Mondo Matematico. *Un nuovo modo di vedere il mondo – I frattali*. Milano: RBA Italia S.r.L., 2011.
- MURREY, James D. *Mathematical Biology: I – An Introduction*. New York: Springer, 2007.
- PEITGEN, H. O. *The beauty of fractals: images of complex dynamical systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1986.
- PEITGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Hartmut; SAUPE, Dietmar. *Fractal for the classroom*. New York: Springer-Verlag, 1992.
- *PEITGEN, Heinz-Otto; SAUPE, Dietmar. *The science of fractal images*. New York: Springer-Verlag, 2011.
- *PICKOVER, Clifford A. *The pattern book – fractals, art and nature*. Singapore: World Scientific, 2000.
- POPENOE, Brigitte. *Nature's Fractal Geometry: A Physiological Response*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011.
- *PRIORI, Giancarlo. *Architetture Frattali*. Roma: Edizione Kappa, 2008.
- *PRUSINKIEWICZ, P.; LINDENMAYER, A. *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer, 1990.

- RODRIGUEZ-ITURBE, I., RINALDO, A., 'Fractal River Basins' in *Chance and Self-Organization*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, Ignacio; RINALDO, Andrea. *Fractal River Basins: Chance and Self-Organization*. Cambridge University Press, 2001.
- ROUX, S., GUYON, E. (eds), *Disorder and Fracture*. New York: Plenum Press, 1990.
- STANLEY, H. E., OSTROWSKY, N. (eds), *On Growth and Form - Fractal and Non-Fractal Patterns in Physics*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986.
- STANLEY, H. E., OSTROWSKY, N. (eds), *Random Fluctuations and Pattern Growth – experiments and models*. Dordrecht: Kluwer, 1988.
- STEWART, I. *Life's Other Secret. The New Mathematics of the Living World*. New York: Wiley, 1998.
- *SORNETTE, Didier. *Critical Phenomena in Natural Sciences: Chaos, Fractals, Self-organization and Disorder: Concepts and Tools (Springer Series in Synergetics)*. New York: Springer, 2006.
- TURCOTTE, Donald L. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- VAN DAMME, H., LEMAIRE, E., 'From flow to fracture and fragmentation in colloidal media', in CHARMET, J. C., VICSEK, Tamás. *Fractal growth phenomena*. Singapore: World Scientific, 1992
- *VICSEK, Tamás. *Fluctuations and scaling in biology*. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- VISWANATHAN, Gandhimohan M.; LUZ, Marcos G. E.; RAPOSO, Ernesto P.; STANLEY, H. Eugene. *The Physics of Foraging: An Introduction to Random Searches and Biological Encounters*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

Periódicos: Fractais [Periodics: Fractals]

- AVNIR, D.; BIHAM, O.; LIDAR, D.; MALCAI, O. 'Is the geometry of nature fractal?' *Science* 279 (1998): 39–40.
- AMAKU, M. et al. 'Fractais no Laboratório Didático', *Rev. Bras. Ens. Fis.*, Dec. 2001, vol.23, no.4, p.422.
- BEN-JACOB, E. 'From snowflake formation to growth of bacterial colonies. Part I: diffusive patterning in azoic systems', *Contemporary Physics* 34 (1993): 247.
- FLEURY, V., 'Branched fractal patterns in non-equilibrium electrochemical deposition from oscillatory nucleation and growth', *Nature* 390 (1997): 145.
- GARCIA-RUIZ, J. M., LOUIS, E., MEAKIN, P., SANDER, L. M. (eds), *Growth Patterns in Physical Sciences and Biology*. New York: Plenum Press, 1993.
- GOMES, M. A. F. 'Fractal geometry in crumpled paper balls', *Am. J. Phys.*, 55 (7), 649, 1987.
- *MAKSE, H. A. Stratification Instability in Granular Flows, *Phys. Rev. E*, 56, 7008-7016 (1997).

*MASTERS, B. R., 'Fractal analysis of the vascular tree in the human retina', *Annual Reviews of Biomedical Engineering* 6 (2004): 427–452.

MATSUSHITA, M., FUKIWARA, H., 'Fractal growth and morphological change in bacterial colony formation', in *Growth Patterns in Physical Sciences and Biology* NATO ASI Series Volume 304, 1993, pp 1–9.

NELSON TR, WEST BJ, GOLDBERGER AL. 'The fractal lung: Universal and species-related scaling patterns'. *Experientia* 1990; 46:251–254.

SAPOVAL, B., BALDASSARRI, A., GABRIELLI, A., 'Self-stabilized fractality of seacoasts through damped erosion', *Physical Review Letters* 93 (2004): 098501.

WEST, G. B., BROWN, J. H., ENQUIST, B. J., 'A general model for the origin of allometric scaling laws in biology', *Science* 276 (1997): 122.

Livros: Complexidade e caos [Books: Complexity and chaos]

BRIGGS, J.; PEAT, F.D. Sabedoria do caos. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2000.

*BRIGGS, John. *Fractals – the patterns of chaos, discovering a new aesthetic of art, science, and nature*. New York: Touchstone, 1992.

*BERGÉ, Pierre; POMEAU, Yves; DUBOIS-GANCE, Monique. *Dos ritmos aos caos*. São Paulo: Editora UNESP, 1995.

*FLAKE, Gary William. *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*. Cambridge: MIT Press, 2000.

*GLASS, Leon; MACKEY, Michael. *Dos relógios ao caos – os ritmos da vida*. São Paulo: EDUSP, 1988.

GLEICK, James. *Chaos making a new science*. London: Penguin Books, 2008.

*MITCHELL, Melanie. *Complexity - A Guided tour*. Oxford: university press: 2009.

MORIN, E. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand, 2000.

PEAK, David. *Chaos under control: the art and science of complexity*. New York: W. H. Freeman, 1994.

PRIGOGINE, Ilya. *O fim das certezas*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

PRIGOGINE, Ilya. *As leis do caos*. São Paulo: Editora UNESP, 2002.

SCHROEDER, Manfred. *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*. New York: Dover Publications, 2009.

SOLÉ, Ricard; GOODWIN, Brian. *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*. New York: Basic Books, 2002.

STEWART, Ian. *Será que Deus joga dados?* Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

*STROGATZ, Steven. *Nonlinear Dynamics And Chaos: With Applications To Physics, Biology, Chemistry, And Engineering*. Boulder: Westview Press, 2001.

*STROGATZ, Steven. *Chaos*. Virginia: The Teaching company, 2008.

WALDROP, M. Mitchell. *Complexity – the emerging science at the edge of order and chaos*. London: Simon & Schuster, 1993.

Periódicos: Complexidade e caos [Periodics: complexity and chaos]

*KYRIASIS, M. 'Practical applications of chaos theory to the modulation of human ageing: nature prefer chaos to regularity', *Biogerontology*, v.4, n.2, p.75-90, 2003.

TRIDIMENSIONALIDADE EM PROJETOS EXPERIMENTAIS [TRIDIMENSIONALITY IN EXPERIMENTAL PROJECTS]

Livros: Arquitetura versus arte-instalação [Books: Architecture versus installation art]

*BIRMINGHAM, Duncan. *Pop-up design and paper mechanics – how to make folding paper sculpture*. East Sussex: Guild of Master Craftsman Publications Ltda., 2010.

*BONNEMAISON, Sarah; EISENBACH, Ronit. *Installations by Architects: Experiments in Building and Design*. New Jersey: Princeton Architectural Press, 2009.

*BUCHHOLDT, H.A. *An introduction to cable roof structures*. 2nd Ed. London: Thomas Teiford, 1999.

DEWEY, John. *Art As Experience*. New York: Perigee Trade, 2005.

LEUNG, Simon; KOCUR, Zoya. *Theory in Contemporary Art since 1985*. Boston: Blackwell Publishing, 2004.

*BISHOP, Claire. *Installation art*. Cambridge: Routledge, 2005.

*EHRlich, Ken; LABELLE, Brandon. *Surface Tension: Problematics of Site*. Italy: Errant Bodies Press, 2003.

*KAYE, Nick. *Site-Specific Art. Performance, Place and Documentation*. London: Routledge, 2000.

*KWON, Miwon. *One Place after Another: Site-Specific Art and Locational Identity*. Cambridge: The MIT Press; New Ed edition, 2004.

MALPAS, William. *Installation Art In Close-Up (Art in Close-up)*. Kent: Crescent Moon Publishing, 2007.

NERDINGER, Winfried (ed). *Frei Otto, Complete Works: Lightweight Construction - Natural Design*. 1st ed. Basel: Birkhäuser, 2005.

*REISS, Julie H. *From Margin to Center. The Spaces of Installation Art*. Cambridge: The MIT Press, 1999.

*SCHODEK, Daniel. *Structure in Sculpture*. Cambridge: MIT Press, 1993.

SHEIL, Bob. *Design through making - Architectural Design Vol 75 No 4 July/August 2005*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2005.

*SUDERBURG, Erika. *Space, Site, Intervention: Situating Installation Art*. Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

Livros: Percepção do espaço [Books: Space perception]

*BACHELARD, Gaston. *A poética do espaço*. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

*DEAR, Peter. *The Intelligibility of Nature - How science makes sense of the world*. London: The University of Chicago, 2006.

HYDE, Stephen et al. *The language of shape – The role of curvature in condensed matter: Physics, Chemistry and Biology*. Amsterdam: Elsevier, 1997.

LYNCH, David K.; LIVINGSTON, William. *Color and Light in Nature* (2nd ed). Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

PEREIRA JR., A. *A percepção do tempo em Husserl*. Trans/Form/Ação, n.13, p.73-83, 1990.

ROESKY, H.W.; MÖCKEL, K. *Chemical Curiosities*. Weinheim: VCH, 1996.

ROSSING, Thomas D.; CHIAVERINA, Christopher J. *Light Science: Physics and the Visual Arts*. New York: Springer (1st edition), 1999.

VYZOVITI, Sophia. *Folding Architecture Spatial, Structural and Organizational Diagrams*. Amsterdam: BIS Publishers, 2004.

WATSON, Donald; CROSBIE, Michael J.; CALLENDER, John Hancock. *Time-Saver Standards for Architectural Design Data*. Madison: The McGraw-Hill, 1997.

Livros: Fundamentação formal do discurso acadêmico [Books: Formal basis of the academic discourse]

*BARABASI, Albert-Laszlo. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means*. New York: Plume, 2003.

BARTHES, Roland. *Camera Lucida: Reflections on Photography*. New York: Hill and Wang, 2010.

*BARTHES, Roland. *How to Live Together: Novelistic Simulations of Some Everyday Spaces*. Columbia: Columbia University Press, 2012.

BOHM, D; PEAT, F.D. *Science, order, and creativity*. 2.ed. London: Routledge, 2000.

CHEVALIER, Jean; GHEERBRANT, Alain. *Dicionário de símbolos*. Rio de Janeiro: José Olympio, 2003.

LIMA, Manuel. *Visual Complexity: Mapping Patterns of Information*. New Jersey: Princeton Architectural Press, 2011.

*NICOLESCU, B. *Manifesto da transdisciplinaridade*. São Paulo: Triom, 1999.

*PAREYSON, Luigi. *Os Problemas da Estética*. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

RAUTERBERG, Hanno. *Entrevistas com arquitetos*. Rio de Janeiro: Viana & Mosley, 2008.

*WOLFRAM, Stephen. *A New Kind of Science*. Champaign: Wolfram Media, Inc., 2002.

ZAMBONI, Silvio. *A pesquisa em arte: um paralelo entre a arte e a ciência*. São Paulo: Editores Associados, 2001.

TRANSIÇÃO ENTRE O REAL E O VISIONÁRIO: PROJETOS E PROTÓTIPOS USANDO RAMIFICAÇÕES ARTIFICIALMENTE VIVAS [TRANSITION BETWEEN THE REAL AND THE VISIONARY: PROJECTS AND PROTOTYPES USING ARTIFICIALLY LIVE BRANCHES]

Livros: Biomecânica [Books: Biomechanics]

BELLONE, Enrico. *La scienza – 8. Il comportamento degli animali*. Novara: La Biblioteca di Repubblica, 2005.

BENYUS, Janine M.; BARBERIS, Juan Carlos. *The Secret Language & Remarkable Behavior of Animals*. New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 1998.

GRIFFIN, Lorri. *Biodynamics Why the Wirewalker Doesn't Fall*. New Jersey: Wiley-Liss, 2004.

HERREL, Anthony; SPECK, Thomas; ROWE, Nicholas. *Ecology and Biomechanics - A mechanical Approach to the Ecology of animals and Plants*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.

*KLOWDEN, M. J.. *Physiological systems in insects*. London: Elsevier/Academic Press, 2007.

*NACHTIGALL, Werner. *Insects in flight – a glimpse behind the scenes in the biophysical research*. Munich: McGraw-Hill Book Company, 1974.

*VOGEL, Steven. *Life's devices – the physical world of animals and plants*. New Jersey: Princeton University Press, 1998.

*VOGEL, Steven. *Comparative biomechanics – Life's Physical World*. New Jersey: Princeton University Press, 2003.

Periódicos: Biomecânica [Periodics: Biomechanics]

NIKLAS, Karl J.; SPATZ, Hanns-Christof; VINCENT, Julian. 'Plant biomechanics: an overview and prospectus'. In: *American Journal of Botany* 93(10): 1369–1378. 2006.

Livros: Biofilia e Biomimética [Books: Biophysics, Biomimetics and Biomimicry]

ALMUSAED, Amjad. *Biophilic and Bioclimatic Architecture: Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture*. New York: Springer, 2010.

ALLEN, Robert. *Bulletproof Feathers: How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology*. London: University Of Chicago Press, 2010.

ANDERSON, Iain A.; VINCENT, Julian. *Biomimetics and Ocean Organisms: An Engineering Design Perspective*. CRC Press, 2013.

- *BENYUS, Janine M. *Innovation inspired by nature – Biomimicry – inside the revolutionary new science that is rediscovering life's best ideas – and changing the world*. New York: William Morrow and Company, Inc., 2002.
- *BENYUS, Janine M. *Biomimesis*. Barcelona: Tusquets: Tra edition, 2012.
- COMFORT, Ray; SETO, Jeffrey. *Made in Heaven*. Green Forest: Master Books, 2012.
- GINATTA, Carlos. *ARCHITECTURE without architecture: Biomimicry design*. VDM Verlag Dr. Müller, 2010.
- GRUBER, Petra. *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*. Vienna: Springer, 2010.
- *FORBES, Peter. *Gecko's foot*. New York: W. W. Norton & Company, 2006.
- *FROMM, Erich. *The Heart of Man*. Harper & Row, 1964.
- HOOKE, Grechen. *Biomimicry Resource Handbook*. Missoula: Biomimicry 3.8 Institute, 2012.
- IMHOF, Barbara; GRUBER, Petra. *What is the architect doing in the jungle? Biornametics*. New York: Springer, 2013.
- KELLERT, Stephen R.; HEERWAGEN, Judith; MADOR, Martin. *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*. New York: Wiley, 2008.
- LEE, Dora; THOMPSON, Margot. *Biomimicry: Inventions Inspired by Nature*. Kids Can Press, 2011.
- LIVANAGE, Asha Nilani. *Biomimicry as a metaphor for Perfect integration in sustainability: Nature, Biomimicry, Perfect integration, Sustainability*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010.
- PAWLYN, Michael. *Biomimicry in Architecture*. London: RIBA Publishing, 2011.
- PASSINO, Kevin M. *Biomimicry for Optimization, Control, and Automation*. New York: Springer, 2004.
- *REBELLO, Yopanan. *A concepção estrutural e a arquitetura*. São Paulo: Zigurate, 2000.
- YAHYA, Harun. *Biomimetics Technology Imitates Nature*. Okmeydani-Istanbul: Global publishing, 2006.
- *YOSEPH, Bar-Cohen. *Biomimetics Biologically inspired Technologies*. New York: Taylor & Francis, 2006.
- SWIEGERS, Gerhard. *Bioinspiration and Biomimicry in Chemistry: Reverse-Engineering Nature*. New York: Wiley, 2012.
- SWIEGERS, Gerhard; LEHN, Jean-Marie; BENYUS, Janine. *Bioinspiration and Biomimicry in Chemistry: Reverse-Engineering Nature*. New York: Wiley, 2012.
- *WILSON, Edward O. *Biophilia*. Cambridge: Harvard University Press, 1984.
- YAHYA, Harun. *Design in nature*. Istanbul: Ta-Ha publishers Ltd., 2004.

Artigo: Biotecnologia [Biotech]

"Convenção sobre Diversidade Biológica (Artigo 2. Utilização de Termos)." Nações Unidas. 1992.
<http://www.cbd.int/convention/text/>

Livros: Invenções e revoluções do pensamento sustentável no design e arquitetura

[Books: Inventions and mind-shift sustainability revolutions in design and architecture]

AUSUBEL, Kenny. *Dreaming the Future: Reimagining Civilization in the Age of Nature*. New York: Chelsea Green Publishing, 2012.

BUA, Matt; GOLDFARB, Max. *Architectural Inventions: Visionary Drawing of Buildings*. St. Louis: Laurence King Publishers, 2012.

DEYOUNG, Donald; HOBBS, Derrik. *Discovery of Design*. Master Books, 2009.

*EDWARDS, Andres R.; ORR, David W. *The Sustainability Revolution: Portrait of a Paradigm Shift*. New Society Publishers, 2005.

GATES, Phil. *Nature Got There First: Inventions Inspired by Nature*. New York: Kingfisher, 2010.

HARMON, Patricia. *The Mind of an Innovator: A Guide to Seeing Possibilities Where None Existed Before*. Strategic Book Publishing, 2010.

LOVINS, L. Hunter; et al. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*. Back Bay Books, 2008.

MEADOWS, Donella H. *Thinking in Systems: A Primer*. New York: Chelsea Green Publishing, 2008.

MOSKOW, Keith; LINN, Robert. *Small Scale: Creative Solutions for Better City Living*. New Jersey: Princeton Architectural Press, 2010.

*QUINN, Bradley. *Design Futures*. London: Merrell Publishers, 2011.

THWAITES, Kevin; PORTA, Sergio; ROMICE, Ombretta; GREAVES, Mark. *Urban Sustainability Through Environmental Design: Approaches to Time-People-Place Responsive Urban Spaces*. Florence: Taylor & Francis, 2008.

*WEINTRAUB, Linda. *To Life!: Eco Art in Pursuit of a Sustainable Planet*. Los Angeles: University of California Press, 2012.

Livros: Biônica [Books: Bionics]

*ASCOTT, Roy. *Engineering Nature Art & Consciousness in the post- Biological ERA*. Bristol: Intellect Books, 2006.

SARPESHKAR, RAHUL. *Ultra Low Power Bioelectronics: Fundamentals, Biomedical Applications, and Bio-Inspired Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

CAMAZINE, S. *Organized Biological Superstructures*. New Jersey: Princeton University Press. 1998.

COLOMBO, Barbara. *Bionic design. Lo sviluppo del prodotto industriale attraverso lo studio della natura*. Roma: Aracne, 2009.

KOHLER, Michael; WOLFGANG, Fritzsche. *Nanotechnology An introduction to Nanostructuring Techniques*. Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH & Co, 2007.

*MARTEKA, Vincent. *Bionics*. Philadelphia: JB Lippincott, 1965.

MUKAND, Jon. *The Man with the Bionic Brain: And Other Victories over Paralysis*. London: Chicago Review Press, 2012.

NACTIGALL, Werner. *Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Berlin: Springer, 2002.

NACTIGALL, Werner. *Bau-Bionik: Natur - Analogien – Technik*. Berlin: Springer, 2003.

*NACHTIGALL, Werner. *Bionik – Lernen von der Nature*. München: Verlag C. H. Beck, 2008.

OLARIU, Stephan; ZOMAYA, Albert Y. *Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications*. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2005.

*OTTO, Frei. *Architecture et Bionique: constructions naturelles*. Denges: Editions Delta Et Spes, 1985.

Livros: Novos materiais, materiais inteligentes, materiais de alta performance e biomateriais

[Books: New materials, smart materials, high performance materials and biomaterials]

ADDINGTON, Michelle; SCHODEK, Daniel. *Smart Materials and New Technologies for architecture and design professions*. Oxford: Elsevier, 2005.

*GOODSELL, David. *Bio nanotechnology lessons from nature*. New Jersey: Wiley-Liss, 2004.

GORDON, J. E. *Structures: Or Why Things Don't Fall Down*. Cambridge: Da Capo Press, 2003.

*GORDON, J. E. *The New Science of Strong Materials*. New Jersey: Princeton University Press, 2006.

IWAMOTO, Lisa. *Digital Fabrications - Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press, 2009.

KARLSRUHE, Michael. *Nano-engineering in Science and Technology - An introduction to the world of Nano-Design*. London: World Scientific Publishing, 2003.

*SCHODEK, Daniel; ADDINGTON, Michelle. *Smart Materials in Architecture and Design*. New York: The Architectural Press, 2004.

*SPILLER, Neil; ARMSTRONG, Rachel. *Protocell architecture –Architectural Design vol 81, no 2 March/April 2011*. London: John Wiley & Sons, 2011.

*STATTMANN, Nicola. *Ultra-Light - Super Strong: A New Generation of Design Materials*. Basel: Birkhäuser, 2003.

*VINCENT, Julian. *Structural Biomaterials*. New Jersey: Princeton University Press, 2012.

Livros: Sensores e sensoriamento [Books: Sensor and sensing]

*BARTH, Friedrich G.; HEMPHREY, Joseph A. C.; SECOMB, Timothy W. (editors). *Sensors and sensing in biology and engineering*. Wien: Springer-Verlag, 2003.

*IZHIKEVICH, Eugene. *Dynamical Systems in Neuroscience: the Geometry of Excitability and Bursting*. Cambridge: the MIT Press, 2007.

LIO, Pietro; VERMA, Dinesh. *Biologically Inspired Networking and Sensing: Algorithms and Architectures*. IGI Global, 2011.

Livros: Definição contemporânea de vida e fundamentos da vida artificial

[Books: Contemporary definition of life and introduction to artificial life]

*ADAMI, Christoph. *Introduction to Artificial Life*. New York: Springer, 1997.

*GESSNER, Michael. *Artificial Life*. Buffalo: Blaze VOX Books, 2009.

KOMOSINSKI, Maciej; ADAMATZKY, Andrew. *Artificial Life Models in Software*. New York: Springer, 2009.

JOHNSTON, John. *The Allure of Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*. Cambridge: A Bradford Book, 2008.

*LANGTON, Christopher. *Artificial Life: An Overview*. New York: MIT Press, 1995.

LANGTON, Christopher G.; TAYLOR, Charles; FARMER, J. Doyne; RASMUSSEN, Steen. *Artificial Life II (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity Proceedings)*. Boulder: Westview Press, 2003.

LEVY, Steven. *Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology*. Vintage, 1993.

PRINZ, Jesse J. *Beyond Human Nature: How Culture and Experience Shape the Human Mind*. New York: W. W. Norton & Company, 2012.

STERELNY, Kim. *The Evolved Apprentice -How Evolution Made Humans Unique*. Cambridge: MIT Press, 2012.

STANDISH, Russell; BEDAU, Mark A.; ABBASS, Hussein A. *Artificial Life VIII: Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life (Complex Adaptive Systems)*. Cambridge: A Bradford Book, 2002.

Periódicos: Definição contemporânea de vida e fundamentos da vida artificial

[Periodics: Contemporary definition of life and introduction to artificial life]

*BEDAU, Mark. 'Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up'. In: *TRENDS in Cognitive Sciences Vol.7 No.11 November 2003*.

Livros: Imagens de padrões de ramificações [Books: Branching pattern images]

ALERS-HANKEY, Victoria; CHISHOLM, Joanna (Editors). *Inside the body – fantastic images from beneath the skin*. London: Cassel Illustrated, 2006.

*AMATO, Ivan. *Supervision – a new view of nature*. New York: Harry Abrams, 2003.

BRIGGS, John; PEAT, F. David. *Turbulent Mirror – an illustrated guide to chaos theory and the science of wholeness*. New York: Harper & Row, 1990.

*BROLL, Brandon. *Microcosms – discovering the world through microscopic images from 20 x to over 20 million x magnification*. London: Firefly, 2007.

LIBBREHT, Kenneth. *The Art of the Snowflake: A Photographic Album*. Minneapolis: Voyageur Press, 2007.

MCGUIRE, Michael. *An eye for fractals*. Boston: Addison-WESLEY Publishing Company, Inc., 1991.

Museum Für Gestaltung Zürich. *From inspiration to Innovation - Nature Design*. Zürich: Lars Müller Publishers, 2007.

NACHTIGALL, Werner. *Exploring with the Microscope*. New York: Sterling, 1997.

STUPPY, Wolfgang; KESSELER, Rob; HARLEY, Madeline. *The Bizarre and incredible world of plants*. Buffalo: Firefly Books, 2009.

Livros: Têxteis, tramas e redes [Books: Textiles, nets and networks]

ABBOTT, A.; ELLISON, M. *Biologically inspired textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008.

*ALLERKAMP, Dennis. *Tactile Perception of Textiles in a Virtual-Reality System*. Berlin -Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.

*BRUNETTA, Leslie; CRAIG, Catherine L. *Spider Silk*. New Haven: Yale University Press, 2010.

CLARKE, Sarah E. Braddock; O'MAHONY, Marie. *Techno textiles 2 – revolutionary fabrics for fashion and design*. London: Thames & Hudson, 2007.

*CRAIG, Catherine L. *Spiderwebs and silk – tracing evolution from molecules to genes to phenotypes*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

EDWARDS, J. Vincent; VIGO, Tyrone L. (editors). *Bioactive Fibers and Polymers*. ACS Symposium series 792. Oxford: Oxford University Press, 2001.

HETHORN, Janet; ULASEWICZ, Connie. *Sustainable Fashion: Why Now? A Conversation Exploring Issues, Practices, and Possibilities*. New York: Fairchild Publications, 2008.

MCFADDEN, David Revere; SCANLAN, Jennifer. *Radical Lace & Subversive Knitting*. Woodbridge: Antique Collectors Club, 2009.

MCQUAID, Matilda. *Extreme textiles – designing for high performance*. New York: Princeton Architectural Press, 2005.

PAKHCHYAN, Syuzi. *Fashioning technology – a DIY intro to smart crafting*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2008.

QUINN, Bradley. *Textile futures – fashion, design and technology*. Oxford: Berg, 2010.

FONTES SOBRE ARTISTAS/ARQUITETOS NA SEÇÃO: ESTADO-DA-ARTE
[SOURCES ABOUT ARTISTS/ARCHITECTS IN THE STATE-OF-THE-ART SECTION]

Agano Machiko

MACHIKO, Agano; UCHIYAMA, Takeo; REUTER, Laurel. *Agano Machiko (portfolio collection)*. Denbighshire: Telos Art Publishing, 2003.

Baptiste Debombourg

<http://www.baptistedebombourg.com/>

Bruno Munari

MUNARI, Bruno. *Bruno Munari: Drawing A Tree (About the Workshop Series)*. Mantova: Edizioni Corraini, 2004.

Chelpa Ferro

NADER, Carlos. *Chelpa Ferro: Videobrasil Coleção de Autores*. São Paulo: Associação Cultural Videobrasil e do SESC São Paulo, 2010.

Carlo Ratti

NICOLINO, Walter, RATTI Carlo. *Digital Water Pavilion at Zaragoza's Milla Digital and Expo 2008*. Stockholm: Electa, 2008.

David Pelham

PELHAM, David. *Trail: Paper Poetry Pop-Up*. New York: Little Simon, 2007.

PELHAM, David. *Dimensional Man*. Roseburg: Touchstone; 1 edition, 1990.

Ecologic Studio

Architectural Association. *AA Projects Review 05/06*. London: AA Publications, 2006.

Architectural Association AA Inter 10. 09/10. *The World Dubai Marine Life Incubator: Eco Machines V.3.0*. London: Ecologic Studio, 2010.

BULLIVANT, Lucy. *Master planning futures*. Cambridge: Rutledge, 2012.

BULLIVANT, Lucy. *New Arcadians: Emerging UK Architects*. London: Merrell Publishers, 2012.

LONG, Kieran. *Hatch: The New Architectural Generation*. St. Louis: Laurence King Publishers, 2008.

ROAF, S.; BAIRSTOW, A. *The Oxford Conference: A Re-Evaluation of Education in Architecture*. Southampton: WIT Press, 2008.

Marc Newson

CASTLE, Alison. *Marc Newson*. Berlin: Taschen, 2012.

MEYLAN, Vincent. *Boucheron: The Secret Archives*. Woodbridge: Antique Collectors Club, 2011.

Margaret Wertheim

TAIMINA, Daina. *Crocheting Adventures with Hyperbolic Planes*. Abington: AK Peters, 2009.

WERTHEIM, Christine; WERTHEIM, Margaret. *Patricia Piccinni : We Are Family*. Strawberry Hills: Australia Council, 2003.

GALE Reference Team. *Biography - Wertheim, Margaret (1958-): An article from: Contemporary Authors Online*. Detroit: Thomson Gale, 2007.

WERTHEIM, Margaret. *A Field Guide to Hyperbolic Space: An Exploration of the Intersection of Higher Geometry and Feminine Handicraft*. Los Angeles: The Institute for Figuring, 2007.

Philip Beesley

BEESLEY, Philip; OHRSTEDT, Pernilla; ISAACS, Hayley. *Hylozoic Ground: Liminal Responsive Architecture*. Cambridge: Riverside Architectural Press, 2010.

BEESLEY, Philip. *Kinetic Architectures and Geotextile Installations*. Cambridge: Riverside Architectural Press, 2010.

BEESLEY, Philip; HIROUSE, Sachiko; RUXTON, Jim; TRANKLE, Marion; TURNER, Camille. *Responsive Architectures: Subtle Technologies*. Cambridge: Riverside Architectural Press, 2006.

BEESLEY, Philip; BONNEMAISON, Sarah. *On Growth and Form: Organic Architecture & Beyond*. ____: Tuns, 2008.

Thomas Heatherwick

HEATHERWICK, Thomas. *Thomas Heatherwick: Making*. New York: The Monacelli Press, 2012.

Tomás Saraceno

RIVITTI, T. Tomás Saraceno, in *Catálogo da 27a Bienal Internacional de São Paulo*. São Paulo: Fundação Bienal, 2006.

ARRHENIUS, Sara; GRANSTROM, Helena; HIRSCH, Nikolaus; KASTNER, Jeffrey; OBRIST, Hans-Ulrich. *Tomás Saraceno: 14 Billions*. Milan: Skira, 2012.

VON HERTZ, Juliane; JONES, Ronald; RODESTEIN, Marianne; SARACENO, Tomás. *Tomás Saraceno: Cloud Cities Air-Port-City*. Berlin: Kerber, 2011.

MALONE, Merdeith; MARIANOVIC, Igor. *Tomás Saraceno: Cloud-Specific*. Chicago: Mildred Lane Kemper Art Museum, 2013.

Discussões e entrevistas via e-mail [e-mail discussions and interviews]

BARNESLEY, Michael. Sep/Oct 2010.

MANDELBROT, Benoit. Sep/Oct 2010.

STEWART, Ian. Sep/Oct 2010.

VICSEK, Tamás. Sep/Oct 2010.

MATERIAL MULTIMÍDIA

MULTIMEDIA MATERIAL

Video-books

*AL-KHALILI, Jim. *Chaos*. London: BBC4, 2010.

CLARKE, Arthur C.; MANDELBROT, Benoît. *Fractals: The Colors of Infinity*. New York: Films for the Humanities & Sciences, 2004.

LESMOIR-GORDON, Nigel. *The Colours of Infinity: The Beauty, The Power and the Sense of Fractals (Paper/DVD edition)*. London: Clear Books, 2004.

TTC Video-courses

Course No. 160—*Understanding the Human Body: An Introduction to Anatomy and Physiology*. Dr. Anthony A. Goodman -Montana State University M.D., Cornell Medical College.

Course No. 1100—*Joy of Science*. Professor Robert M. Hazen- George Mason University Ph.D., Harvard University.

Course No. 1120 – *Great Scientific Ideas That Changed the World*. Professor Steven L. Goldman - Lehigh University Ph.D., Boston University.

Course No.1333 – *Chaos*. Professor Steven Strogatz- Cornell University Ph.D., Harvard University.

Course No.1460 – *Shape of Nature*. Professor Satyan L. Devadoss- Williams College Ph.D., The Johns Hopkins University.

Course No. 1500 – *Biology: The Science of Life Course*. Professor Stephen Nowicki - Duke University Ph.D., Cornell University.

Course No. 1515 – *Origins of Life*. Professor Robert M. Hazen - George Mason University Ph.D., Harvard University.

Course No. 1546 – *Sensation, Perception, and the Aging Process*. Professor Francis B. Colavita - University of Pittsburgh Ph.D., University of Indiana.

Course No. 1580 – *Understanding the Brain*. Professor Jeanette Norden-Vanderbilt University Ph.D., Vanderbilt University School of Medicine.

Course No. 1597 – *Biology and Human Behavior: The Neurological Origins of Individuality, 2nd Edition*. Professor Robert Sapolsky - Stanford University Ph.D., Rockefeller University

Course No. 1700 – *Nature of Earth: An Introduction to Geology*. Professor John J. Renton - West Virginia University Ph.D., West Virginia University

Course No. 1730 – *Oceanography: Exploring Earth's Final Wilderness*. Professor Harold J. Tobin - University of Wisconsin/Madison Ph.D., University of California, Santa Cruz.

Course No. 1750 – *How the Earth Works*. Professor Michael E. Wysession - Washington University in St. Louis Ph.D., Northwestern University.

Course No. 4200 – *Great Ideas of Philosophy, 2nd Edition*. Professor Daniel N. Robinson- Philosophy Faculty, Oxford University; Distinguished Professor, Emeritus, Georgetown University Ph.D., City University of New York

Course No. 5181 – *Understanding Complexity*. Professor Scott E. Page- University of Michigan Ph.D., Northwestern University.

Course No. 7901 – *Fundamentals of Photography*. Professor Joel Sartore - National Geographic Magazine Professional Photographer.

Conversas TED: apresentações inspiradoras [TED Talks: inspiring presentations]

BENYUS, Janine. The promise of biomimicry. Posted Apr 2007.

BENYUS, Janine. Biomimicry in action. Posted Ago 2009.

ECHELMAN, Janet. Taking imagination seriously. TED2011; Filmed Mar 2011; Posted Jun 2011.

EGLASH, Ron. The fractals at the heart of African designs. Posted Nov 2007.

ELIASSON, Olafur. Playing with space and light. TED2009; Filmed Feb 2009; Posted Jul 2009.

FOSTER, Norman. Norman Foster's green agenda. DLD2007; Filmed Jan 2007; Posted Mar 2008.

GANSON, Arthur. Moving Sculpture. TED2002; Filmed Mar 2004; Posted May 2008.

HAYASHI, Cheryl. The magnificence of spider silk.

HEATHERWICK, Thomas. Building the Seed Cathedral. Posted May 2011.

JANSEN, Theo. My creations, a new form of life. TED2007; Filmed Mar 2007; Posted Sep 2007.

JEREMIENKO, Natalie. The art of eco-mindshift. Business Innovation Factory; Filmed Oct 2009; Posted Oct 2010.

JOACHIM, Mitchell. Don't build your home, grow it! TED2010; Filmed Feb 2010; Posted Jul 2010.

JOHANSSON, Erik. Impossible photography. TEDSalon London Fall 2011; Filmed Nov 2011; Posted Feb 2012.

LARSSON, Magnus. Turning dunes into architecture. TEDGlobal2009; Filmed Jul 2009; Posted Nov 2009.

LIBESKIND, Daniel. Daniel Libeskind's 17 words of architectural inspiration. TED2009; Filmed Feb 2009; Posted Jul 2009.

- LOVEGROVE, Ross. Ross Lovegrove shares organic design. TED 2005; Filmed Feb 2005; Posted Aug 2006.
- MANDELBROT, Benoit. Fractals and the art of roughness. Posted Jul 2010.
- MCRAE, Lucy. How can technology transform the human body? TED2012; Filmed Feb 2012; Posted Apr 2012.
- MIEBACH, Nathalie. Art made of storms. Posted Oct 2011.
- OMENETTO, Fiorenzo. Silk, the ancient material of the future. Posted May 2011.
- PAWLYN, Michael. Using nature's genius in architecture. TEDSalon London 2010; Filmed Nov 2010; Posted Feb 2011.
- *PRESTON, Richard. Richard Preston on the giant trees. TED2008; Filmed Feb 2008; Posted Dec 2008.
- PYLE, Richard. Richard Pyles dives the reef's Twilight Zone. Posted Feb 2009.
- RATTI, Carlo. Architecture that senses and responds. Posted May 2011.
- SHANNON, Tom. Tom Shannon's anti-gravity sculpture. TED2003; Filmed Feb 2003; Posted May 2009.
- SINCLAIR, Cameron. A call for open source architecture. TED2006; Filmed Feb 2006; Posted Jul 2006.
- SUSSMAN, Rachel. The world's oldest living things. Posted Sep 2010.
- VEASEY, Nick. Exposing the invisible. TEDGlobal2009; Filmed Jul 2009; Posted Jan 2010.
- WERTHEIM, Margaret. The beautiful math of coral. TED2009; Filmed Feb 2009; Posted Apr 2009.

EPÍGRAFES [EPIGRAPHS]

- FULLER, Richard Buckminster. Critical Path. London: Macmillan, 2002:38.
- DARLING, David J. The Universal Book of Mathematics. New Jersey: John Wiley and Sons, 2004:34.

GLOSSÁRIO [GLOSSARY]

Definição dos termos básicos [Definition of basic words]

Neurônio alfa-motor – neurônio na massa cinzenta cerebral da medula espinhal. Ramifica da sua sinapse do axônio em fibras musculares e transmite o sinal nervoso que faz com que eles se contraíam (EVANS-MARTIN, 2005).

Arte-instalação – noção de arte tridimensional que designa, em seu sentido corrente, a ideia geral é de que se trata de arte fisicamente acessível, que modifica a paisagem circundante de modo permanente ou temporário. Com frequência, a arte-instalação abrange aspectos de sensorialidade e interatividade com o público (KWON, 2004).

Bio-assistência – Às vezes confundida com biomimetismo, bio-assistência é domesticar um organismo para realizar uma função, tais como o crescimento bicho da seda para obter a seda de seus casulos, ou uso de bactérias para purificar a água. Bio-assistência não é biomimetismo, mas pode ser bem adaptada, se for feita naturalmente, não por meio de engenharia genética (BENYUS, 2002).

Biomimetismo – uma ciência que estuda as estruturas biológicas (chamadas microestruturas e nanoestruturas com escaneamento de microscópio eletrônico), mimetiza seres vivos e resolve problemas em engenharia, ciências dos materiais e medicina, produzindo material e mecanismos tecnológicos por meios de extração de design de qualidade a partir da natureza, em busca de processos de design cada vez mais eficientes (VINCENT, 2005).

Biônica – ciência que nasceu na Rússia, em meados do século XX, como um guarda-chuva para outras ciências naturais e de tecnologia da engenharia, sendo uma área do conhecimento situada entre a biologia e a tecnologia industrial (WOLFRAM, 2004).

Biotecnologia – termo dado a qualquer aplicação tecnológica que usa sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados, para fazer ou modificar produtos ou processos para uso especialista (CLARKE & O'MAHONY, 2005).

Alpha motor neuron – neuron in ventral gray matter of the spinal cord. Branches of its axon synapse on muscle fibers and transmit the nerve signal that causes them to contract (EVANS-MARTIN, 2005).

Installation Art – the notion of three-dimensional art which designates, in its ordinary sense, the general idea is that it is physically accessible art, which changes the surrounding landscape, either permanently or temporarily. Often the art facility covers aspects of sensing and interaction with the audience (KWON, 2004).

Bio-assistance – Sometimes confused with biomimicry, bio-assistance is domesticating an organism to accomplish a function, such as growing silk worms to obtain the silk from their cocoons, or using bacteria to purify water. Bio-assistance is not biomimicry, but it can be well-adapted if it is done naturally, not through genetic engineering (BENYUS, 2002).

Biomimicry – a science that studies the biological structures (called micro-structures and nano-structures with electron microscope scanning), mimicking living beings and resolves problems in engineering, materials science and medicine, producing material and technological mechanisms by means of extraction quality design from nature, in search of design processes more efficient (VINCENT, 2005).

Bionics – a science that was born in Russia in mid-twentieth century, as an umbrella for other natural sciences and engineering technology, with an area of knowledge lying between biology and industrial technology (WOLFRAM, 2004).

Biotechnology – a term given to any technological application that uses biological systems, living organisms or derivatives thereof, to make or modify products or processes for use specialist (CLARKE & O'MAHONY, 2005).

Números complexos – forma de codificação algébrica de pontos no plano comum euclidiano de modo que o deslocamento de posição corresponde à adição de números complexos; e alargamento ou encolhimento e rotação correspondem à multiplicação de números complexos. Muitas operações de dados em duas dimensões podem ser provadas como válidas mais diretamente se são escritas como operações de números complexos (ROLPH, 1990).

Dendritos – pequenas extensões ramificadas que saem de um neurônio, localizada na extremidade oposta da célula a partir do axônio (EVANS-MARTIN, 2005).

Filamento – comprimento contínuo da fibra. A seda é um filamento contínuo, dando à trama forma, caimento e brilho. As fibras correm em paralelo umas às outras, sem quebras no comprimento. Fio sintético é geralmente produzido em contínuo para dar textura mais agradável (CLARKE & O'MAHONY, 2005).

Fractal – objetos rugosos, porosos ou fragmentados no mesmo grau, em todas as escalas, dividindo-se entre: fractais regulares, construídos através de algoritmos matemáticos em iterações sucessivas (Exemplos: Conjunto de Julia, conjunto de Mandelbrot, Triângulo de Sierpinski), e fractais irregulares, como as estruturas naturais encontrados em vários sistemas orgânicos e minerais (Exemplos: brócolis, nuvens, flocos de neve, xilema e floema de plantas, pulmão e rim) (MANDELBROT, 1975).

Fibras de Purkinje – ramificação do músculo cardíaco que se origina a partir do feixe atrioventricular no nó (AV) atrioventricular, estendendo-se para os músculos papilares e as paredes laterais dos ventrículos (WHITTEMORE, 2004).

Site-specific (sito específico) – obras criadas de acordo com o ambiente e com um espaço determinado. Trata-se, em geral, de trabalhos planejados – muitas vezes fruto de convites – para certo local, em que os elementos esculturais dialogam com o meio circundante, para o qual a obra é elaborada (KWON, 2004).

Complex numbers – algebraic way of coding points in the ordinary Euclidean plane so that shift of position corresponds to the addition of complex numbers; and enlargement or shrinking and rotation correspond to multiplication of complex numbers. Many operations on data in two dimensions can be proved valid more directly if they are written out as operations on complex numbers (ROLPH, 1990).

Dendrites – small branch-like extensions that come off a neuron, located at the opposite end of the cell from the axon (EVANS-MARTIN, 2005).

Filament – continuous length of fiber. Silk is a continuous filament, giving the plot shape, drape and luster. The fibers run in parallel to each other, without breaks in length. Most synthetic fibers are produced continuously to give more pleasant texture (CLARKE & O'MAHONY, 2005).

Fractal – objects rough, porous or fragmented in the same degree at all scales, divided between: regular fractals, constructed through mathematical algorithms in successive iterations (Examples: Julia Set, Mandelbrot Set, Triangle Sierpinski), and irregular fractals, like the natural structures found in many organ systems and minerals (Examples: broccoli, clouds, snowflakes, xylem and phloem of plants, lung and kidney) (MANDELBROT, 1975).

Purkinje Fibers – branching cardiac muscle that originates from the atrioventricular bundle in the atrioventricular (AV) node, extending out to the papillary muscles and lateral walls of the ventricles (WHITTEMORE, 2004).

Site-specific (site specific) – works created according to the environment and with a certain space. It generally works planned – often the result of invitations – to a certain place, in which the sculptural elements dialogue with the surrounding medium, for which the work is prepared (KWON, 2004).