

## A natureza das formas biológicas:

a auto-organização e a cognição formadoras

Gustavo Maia Souza

**Como citar:** SOUZA, G. M. A natureza das formas biológicas: a auto-organização e a cognição formadoras. *In:* GONZALES, M. E. Q.; BROENS, M. C. (org.). **Encontro com as Ciências Cognitivas**. Marília: Unesp Marília Publicações, 1998. 2 v. p. 49-68. DOI:

<https://doi.org/10.36311/1998.978-85-86738-03-4.p49-68>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

# A NATUREZA DAS FORMAS BIOLÓGICAS: A AUTO-ORGANIZAÇÃO E A COGNIÇÃO FORMADORAS

Gustavo Maia SOUZA<sup>1</sup>

## Introdução: situando a forma

A questão da forma sempre foi um tema que inspirou muitos filósofos e cientistas ao longo da história. Entretanto, é importante destacar que as abordagens filosófica e científica são muito distintas no que tange este tema.

No âmbito da filosofia, a forma só se apresenta como um problema na medida em que se contraponha à matéria. Assim, apenas a dualidade ou dualismo entre forma e matéria confere razão de ser tanto para uma como para a outra (Brandão, 1998). Já do ponto de vista científico, a forma é inextricavelmente ligada à matéria, muitas vezes associada à geometria de objetos, seu tamanho, simetria e ocupação do espaço. A forma também é revestida de problematidade nos planos da história da arte e da estética, campos em que a filosofia tange a ciência e vice-versa (Machline et al., 1995).

Neste ensaio discutiremos uma noção de forma no plano científico, mais especificamente, no que diz respeito ao campo das ciências biológicas. A natureza viva apresenta uma infinidade de formas que podem ser observadas em várias escalas, desde o nível molecular até o nível ecológico. Pretende-se aqui discutir e apresentar algumas questões sobre a natureza destas formas biológicas, algumas de suas propriedades e origens.

Quando percebemos uma forma na Natureza o primeiro elemento que nos salta aos olhos, na maioria das vezes, é a beleza da forma, uma sensação de deleite estético, que pode superar de momento uma observação mais sistemática.

---

<sup>1</sup> Departamento de Botânica - Instituto de Biociências - UNESP- Rio Claro – SP.

Tal característica é notavelmente inerente às formas naturais, e chamou a atenção de filósofos como Kant, Hegel, Goethe, Schelling e muitos outros. Para a ciência a beleza encontra-se presente nas proporções e simetrias encontradas nas mais variadas formas e nos possíveis padrões existentes na Natureza.

As formas biológicas revestem-se de uma notável dinâmica que, não raro, escapa às análises morfológicas estáticas. Um ser vivo multicelular é um verdadeiro mosaico de formas ao longo de seu desenvolvimento. O processo ontogenético confere à um único organismo variadas formas ao longo de sua existência. E é na ontogênese e na maneira com que um ser vivente se adapta às variações de seu meio que podemos notar a ação da auto-organização. Sistemas biológicos são essencialmente sistemas abertos, sendo assim, sujeitos à ação aleatória do ambiente circunjacente, conferindo-lhes uma certa imprevisibilidade em sua dinâmica, apesar de possuir limites claramente impostos por seu material genético.

Ao modo com que um ser vivente lida com seu ambiente poderíamos associar certos atos cognitivos, uma vez que estes normalmente respondem aos estímulos percebidos do seu ambiente. Dessa forma poderíamos sugerir uma generalização do processo mental básico a todo o universo biológico.

### **A beleza das formas na natureza**

Por que consideramos algumas coisas belas e outras não? O que nos atrai na Natureza? Existem padrões nas formas, ou essas são aleatórias?

Embora, observemos milhares de diferentes formas no mundo, essas são variações e combinações de alguns poucos padrões básicos. A esfera, o meandro, as bifurcações em forma de pé de galinha, o hexágono e a espiral são formas básicas encontradas na Natureza, responsáveis pela forma de um sem número de estruturas vivas (animais, plantas etc) ou não-vivas (formas geográficas, minerais, água etc).

Para exemplificar, encontramos espirais em estruturas das mais distintas origens. Vários moluscos apresentam suas conchas em formas de espirais, no crescimento de plantas observamos movimentos e padrões espiralados, a forma com que a água desce por um ralo origina uma espiral, há também galáxias em

formas espirais! A esfera é outra forma abundante, talvez por ser a melhor maneira de se empacotar um certo volume. Milhares de estruturas possuem formas esféricas ou visivelmente derivadas de uma esfera deformada. Basta olharmos para o nosso próprio corpo, dos pés à cabeça possuímos formas esféricas, arredondadas. O meandro é uma forma que observamos tanto no contorno de um rio quanto na forma com que uma cobra se movimenta. O hexágono, faz parte do arranjo de várias moléculas orgânicas como o benzeno. Colméias de abelhas são arranjas em estruturas hexagonais, assim como as moléculas da água quando formam o gelo se arranjam em configurações hexagonais. As bifurcações em pé de galinha são encontradas desde as superfícies de contato entre arranjos de bolhas de sabão até entre células vizinhas que formam os tecidos de um ser vivente. Várias árvores tem suas copas formadas por bifurcações deste tipo, bem como a disposição das nervuras em uma folha. Este tipo de ligação é uma maneira muito eficiente para a otimização de vias de comunicação e economia de material para a sustentação de uma estrutura maior, como no caso de uma árvore.

Notamos que por trás de um mundo muito complexo pode haver simplicidade associada a determinados padrões naturais. As soluções encontradas pela Natureza para problemas complexos parecem, muitas vezes, culminar em soluções simples ao longo do período evolutivo, embora apresentando causas de construção de formas possivelmente diferentes. As causas da formação de galáxias em espirais, provavelmente, são diferentes da formação de espirais nos arranjos das peças florais. Estas são formas recorrentes na Natureza.

Retornando à nossa questão inicial, consideramos algumas coisas belas porque somos capazes de reconhecer determinados padrões que nos são agradáveis. Os padrões são as maneiras com que as formas básicas se combinam e fazem parte de nossa história de vida. Mesmo se vivêssemos em um mundo desértico e aparentemente inóspito, passaríamos a reconhecer determinados padrões como sendo belos.

Por trás dos padrões encontrados na Natureza existem relações entre números, isto é, existe uma relação matemática que os caracterizam. Por exemplo, a sequência Fibonacci, que é uma sequência de números onde o seguinte é a soma dos dois anteriores (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21...), é encontrada desde a disposição das pétalas

e ramos de uma planta até nas proporções do corpo humano e na maneira com que coelhos se reproduzem. Em uma flor, por exemplo, muitas vezes observamos pétalas distribuídas em braços de espirais que estão separadas por ângulos de aproximadamente  $137,5^\circ$ , o ângulo áureo. Este valor é formado por uma fração composta por números que pertencem a sequência Fibonacci,  $34/55 = 0,6182$  que já é bastante próximo do valor áureo  $0,618034$  (Stewart, 1996). Portanto, o reconhecimento de certas relações matemáticas presentes nas formas parece ser um dos pontos fundamentais para a nossa noção de beleza.

Outra questão fundamental é a simetria. Suscintamente, podemos entender por simetria a equivalência entre dois ou mais planos de uma determinada estrutura. Mais precisamente, segundo Hermann Weyl, simetria é a idéia de invariância de uma configuração de elementos sob um grupo de transformações automórficas. Por exemplo, se dividirmos nosso corpo por uma linha que passa da cabeça aos pés pelo centro do corpo teremos duas partes simétricas: um olho de cada lado, um braço e uma perna para cada lado, que nos confere uma simetria do tipo bilateral. Analogamente, várias formas que consideramos belas na Natureza possuem algum tipo de simetria. Pode-se perceber simetria na distribuição de pétalas de uma flor, na distribuição da coloração em uma ave e praticamente em tudo que o homem faz, de construções à obras de arte, o homem sempre busca alguma simetria em sua representação do mundo.

Poderíamos considerar que a idéia de proporção vem fechar o número de requisitos básicos para considerarmos algo belo. A proporção é a razão de tamanho ou volume entre as partes de uma determinada estrutura. Leonardo Da Vinci definiu o que seriam as proporções ideais para o corpo humano no seu desenho do Homem Vitruviano, onde existem proporções precisas do tamanho do tronco em relação aos membros e a cabeça baseadas em números que fazem parte da sequência Fibonacci. Desta forma, identificamos um rosto belo quando nele reconhecemos simetria e proporções que nos são mais familiares ou atraentes. Este tipo de comportamento é comum no reino animal fazendo parte do processo evolutivo de escolha de parceiros.

Mas qual(is) é(são) o processo que constrói as formas no mundo vivo? Existem propriedades específicas? Há alguma dinâmica subjacente? Estas são

questões fundamentais que geraram, geram e certamente ainda gerarão motivos para especulações científicas e filosóficas importantes. Estas questões tangem a grande pergunta: “O que é vida?”.

### Auto-organização

Ilya Prigogine, Prêmio Nobel de química, estudou em termodinâmica os sistemas abertos que mantêm trocas com seu ambiente, especialmente trocas de matéria, energia e informação. Tais sistemas, não apenas possuem fontes internas de produção de entropia como também uma fonte externa associada com transformações de energia ou massa para ou de sua vizinhança. Estes sistemas mantêm sua estrutura por dissipação e consumo de energia e foram chamados de “estruturas dissipativas” (Jantsch, 1992; Mainzer, 1994). Assim, tais sistemas escapam ao equilíbrio termodinâmico e são ditos sistemas *fora do equilíbrio*.

Hoje sabemos que um mesmo sistema pode, à medida que se aumenta o desvio do equilíbrio termodinâmico, atravessar múltiplas zonas de instabilidade nas quais seu comportamento se modificará de maneira qualitativa. Ele poderá sobretudo atingir um regime caótico em que sua atividade pode ser definida como o inverso da desordem que reina no equilíbrio: nenhuma estabilidade garante mais a pertinência de uma descrição macroscópica; todos os possíveis se atualizam, coexistem e interferem, o sistema é “ao mesmo tempo tudo o que pode ser” (Prigogine & Stengers, 1992). Pequenas instabilidades e flutuações levam a bifurcações irreversíveis e a um aumento de complexidade do possível comportamento seguinte (Mainzer, 1994).

De maneira mais geral, podemos conceber a evolução de sistemas organizados, ou o fenômeno da auto-organização, como um processo de aumento de complexidade, simultaneamente estrutural e funcional, resultante de uma sucessão de desorganizações resgatadas, sempre acompanhadas pelo reestabelecimento num nível de variedade maior e de menor redundância. Assim, tais desorganizações provocadas por *fatores aleatórios* do ambiente, sujeito à segunda lei da termodinâmica, constituem o que Atlan chama de ruído. O ruído provoca erros no sistema que *a posteriori* são responsáveis pelo aumento de complexidade, deste modo atuando como

ruído organizacional (Atlan, 1992). Entretanto, durante a evolução de um sistema auto-organizado pode não ocorrer um aumento contínuo de complexidade em todas as escalas espaço-temporais observáveis. Muitas vezes, de causas complexas podem emergir padrões de comportamento simples.

Mas o que é complexidade ?

Não é fácil definir complexidade e nem tão pouco medi-la. Intuitivamente, podemos associar complexidade a relações entre partes constituintes de um sistema, a algo complicado e intrincado, a algo entre ordem e desordem. Uma árvore, por exemplo, é maior que uma pequena flor, e certamente possui mais células (ou moléculas), mas isto não significa que uma árvore seja mais complexa que uma flor. Várias técnicas para medir complexidade como entropia e informação (shannoniana) têm sido aplicadas ao estudo de sistemas auto-organizados, entretanto, apresentam problemas de ordem prática e teórica. De fato, complexidade parece ser ainda indefinível não permitindo uma mensuração objetiva (Ayres, 1994).

De forma genérica, a complexidade em biologia pode ser associada à variedade de elementos constituintes, onde existe a possibilidade de quantificação exata, e às interações entre os constituintes que compoem a dinâmica do sistema, o que é infinitamente mais difícil de ser avaliado.

Além da tendência para o aumento de complexidade, que não é obrigatório para todos os sistemas uma vez que a auto-organização pode levar o sistema a estados mais simples que seus anteriores, outra importante propriedade intrínseca de sistemas auto-organizados é a emergência. A teoria da emergência nos diz que a totalidade do sistema é maior que a soma de suas partes, e o todo exhibe padrões e estruturas que surgem espontaneamente das interações entre as partes. O crescimento de um sistema auto-organizado é autônomo, e seu comportamento é imprevisível ou não-determinístico (Ayres, 1994). Entretanto, é possível fazer significantes distinções observando certos aspectos do sistema como um todo. Um destes aspectos mais importantes é a hierarquia ascendente de ordem. Em sistemas de vários níveis (moléculas-células-tecidos-órgãos) a hierarquia tem especial importância; cada nível inclui todos os níveis inferiores (Jantsch, 1992).

A *organização* de um sistema refere-se ao padrão característico no

qual processos estão ligados, como por exemplo, em hiperciclos. Um hiperciclo, cuja teoria foi desenvolvida por Manfred Eigen (1971), é um círculo fechado de processos de transformação ou de processos catalíticos no qual um ou mais participantes atuam como autocatalizadores, como ocorre na reação de Belousov-Zhabotinsky e vários ciclos bioquímicos nas células vivas (Jantsch, 1992). Uma das mais notáveis propriedades dos hiperciclos é a sua capacidade de evoluir, passando por instabilidades e criando níveis de organização sucessivamente mais elevados, que se caracterizam por diversidade crescente e pela riqueza de componentes e de estruturas (Capra, 1997).

A *função* de um sistema envolve o total de características de seus processos, incluindo as relações com o ambiente e a organização do sistema, além da interação cinética entre os processos individuais. A função de autopoiese, introduzida por Humberto Maturana e desenvolvida por ele e por Francisco Varela e Ricardo Uribe, ocupa um lugar especial na teoria de auto-organização. Um sistema é autopoietico quando sua função é primariamente gerada por auto-renovação. Uma célula biológica, por exemplo, é autopoietica devido às suas reações anabólicas e catabólicas em cadeia que, após um certo período, não consiste mais das mesmas moléculas. Um regime autopoietico envolve um sentido de particular individualidade, com particular autonomia do ambiente. (Jantsch, 1992). Em outras palavras, segundo a bióloga e filósofa Gail Fleischaker um sistema ou rede autopoietica pode ser caracterizada por três propriedades: ser autolimitada, autogeradora e autoperpetuada. Ser autolimitada significa ser um sistema organizacionalmente fechado, embora estruturalmente aberto, limitado por uma fronteira gerada pelo próprio sistema, tal como uma membrana celular, criando um meio interno. O aspecto autogerador diz respeito à capacidade do sistema de produzir e transformar todos os seus componentes, inclusive a fronteira, por processos internos. E ser autoperpetuado significa que os processos de produção continuam ao longo do tempo, com contínua reposição dos componentes do sistema (Capra, 1997).

Segundo Pereira Júnior *et al.* (1996), sistemas auto-organizados do tipo biológico, em nível ontogenético, são aqueles dotados de uma informação invariante constitutiva (ADN), que constróem sua organização espacial e temporal a partir da replicação e leitura da informação, e a mantêm estável, através de mecanismos

bioquímicos de auto-regulação. A operação do sistema é regulada pela leitura da informação constitutiva, que, por sua vez, é sensível a fatores físicos e químicos oriundos dos ambientes interno e externo, gerando uma multiplicidade de leituras possíveis.

A estabilidade biológica, longe do equilíbrio, é fundamental para a manutenção e o entendimento da auto-organização. Existem duas modalidades básicas de estabilidade biológica: a homeostase (capacidade de um sistema de retornar a um estado prévio após sofrer uma perturbação); e a homeose (capacidade de atingir estágios de estabilidade através de instabilidades). O processo de organização ontogenético, mantido pela homeostase e homeose, possui uma clara estrutura hierárquica, onde os mecanismos de produção de organização geram patamares organizacionais, cujos sucessores utilizam os produtos dos antecessores (Pereira Júnior *et al.*, 1996).

Sistemas dinâmicos auto-organizados de grande complexidade evoluem naturalmente para um estado crítico que pode ser equivalente ao limite do caos. Neste estado, se o sistema é perturbado, obtém-se uma pequena resposta; se ocorre uma nova perturbação, com o mesmo grau de intensidade, o sistema poderá ruir completamente. Se o sistema é perturbado várias vezes no estado crítico, obtém-se uma série de respostas seguindo uma lei do expoente, onde grandes respostas são raras e pequenas respostas são frequentes (Bak & Chen, 1991; Bak, 1994; Bak, 1996).

Em resumo, segundo Capra (1997), os processos de auto-organização têm evidentes as seguintes características comuns: o fluxo contínuo de energia e de matéria através do sistema; o estado afastado do equilíbrio; a emergência de novos padrões de ordem; o papel central dos laços de realimentação (hiperciclos) e a descrição matemática por equações não-lineares.

### **Auto-organização e forma**

Sistemas biológicos, desde os mais simples (como as células) até os mais complexos (como as florestas), possuem propriedades que lhes permitem serem auto-organizados. O fato destes sistemas serem semi-abertos, isto é, serem distinguíveis fisicamente do meio circunjacente embora podendo manter trocas de

matéria, energia e informação com seu meio e com outros sistemas vivos, lhes permitem se auto-realizarem aumentando sua complexidade durante sua ontogenia ou durante sua formação por interações de indivíduos mais complexos, como no caso de florestas, comportando-se como estruturas dissipativas.

Além de manterem um fluxo bidirecional contínuo de matéria e energia com o meio, a outra importante propriedade que os sistemas biológicos apresentam é a capacidade de utilizar perturbações do meio (ruído) no seu processo de organização. Dentro de certos limites, o ruído é incorporado no processo de organização biológico como disparador de processos metabólicos envolvidos na ontogênese, e até como catalizador de relações ecológicas, originando sistemas multi-escalares.

Os sistemas biológicos podem ser considerados como uma verdadeira hierarquia de sistemas aninhados onde algumas propriedades dos níveis superiores não podem ser encontradas nas propriedades de níveis inferiores. Assim, tais sistemas possuem propriedades que emergem a partir das interações entre partes individuais.

De certa forma, podemos encarar um único indivíduo como uma verdadeira comunidade de populações de células ou órgãos com determinadas relações ecológicas que originam propriedades coletivas. Por exemplo, células em um determinado tecido *competindo* por nutrientes, ou mesmo folhas na copa de uma árvore *competindo* por luz formam sistemas globais com propriedades que garantem a integridade do sistema.

Notamos aqui que a questão de escala espaço-temporal em sistemas biológicos é fundamental para a compreensão de suas propriedades. Considerando-se diferentes escalas, o que é comportamento emergente em uma pode ser comportamento particular em outra. Este assunto merece atenção especial e será tratado em outra ocasião.

Todas estas características conferem aos sistemas vivos uma espécie de fluidez subjacente a sua estrutura e ao mesmo tempo em relação ao ambiente, através de trocas físicas. A vida parece mais um fluído contínuo que tem a capacidade de se auto-organizar constantemente, ora em função da manutenção de sua

estabilidade estrutural, ora em função de mudanças adaptativas às condições do meio.

De qualquer maneira, a expressão biológica oriunda de um processo auto-organizador é uma *forma*, seja qual for o nível de organização. De um modo intuitivo e até vulgar, uma forma está sempre associada à uma figura geométrica estável. Tal concepção estática da forma na qual a biologia contemporânea foi construída, teve como consequência o estabelecimento de uma profunda dicotomia entre forma e função, a primeira relacionada a estrutura física estática do sistema (sua morfologia) e a segunda relacionada ao funcionamento dinâmico e interações no sistema (sua fisiologia). Além do mais, estabeleceu uma visão fragmentaria e reducionista dos componentes de um sistema biológico criando-se categorias artificiais de valor muitas vezes apenas didático no estudo de relações mais complexas. Entretanto, tal contexto certamente trouxe muitos avanços em várias áreas do conhecimento biológico, principalmente nos níveis de organização molecular e celular. Mas, do ponto de vista de um organismo e de uma comunidade ecológica, a visão reducionista e fragmentária tem obscurecido uma compreensão mais complexa da Natureza.

De acordo com Jean Dhombres (apud Noël, 1996)

a idéia de um dinamismo, de um movimento ligado às formas, é essencial. Ela não é apenas útil porque se pode, com a função, representar a mudança. É preciso chegar a um plano mais profundo daquilo que ainda é uma forma. (...) Uma das soluções consiste em desdobrar a forma para fazê-la engendrar uma família de formas, da qual ela será, de certo modo, a representante. E um bom meio é o de desdobrá-la no tempo, fazer a forma se mover. A morfogênese é precisamente o estudo das deformações que se podem produzir em uma superfície com o objetivo de saber como essas deformações a modificam, a fim de fundamentar uma classificação: ver a forma é isso.

Esta parece ser uma maneira mais natural de se encarar uma forma biológica, uma vez que a própria vida não é estática. E porque sua *forma* o seria? Outros autores como Rolf Sattler (1990) já vêm desenvolvendo, há algum tempo,

teorias sobre um modelo contínuo de morfologia. Em vários trabalhos, Sattler vem tentando provar que um modelo contínuo de morfologia em plantas é mais apropriado para caracterizar tal objeto, uma vez que as formas aparentes são propriedades emergentes de um processo contínuo de construção biológica. Goethe<sup>2</sup>, no século XVIII, já considerava que uma planta era oriunda de um processo contínuo de metamorfose de formas.

Para Rupert Sheldrake (1985), existe um sério problema no tocante a quantificação de uma forma. Uma vez que há uma certa imaterialidade na forma, já que esta é um processo de modificações, sua quantificação em relação a fatores físicos como massa, *momentum*, energia e temperatura, não é óbvia. Por exemplo, se incinerarmos uma flor a quantidade de matéria e energia permanece a mesma, mas a forma simplesmente desaparece. Segundo Sheldrake as formas devem ser explicadas em termos de formas mais fundamentais, e não em termos de números.

Entretanto, com o advento da geometria fractal por Mandelbrot<sup>3</sup> surge um modo promissor de medirmos e compararmos a complexidade de formas através de sua dimensão fractal. Mas certamente, isto ainda não atende todas as necessidades de um modelo baseado na forma como um processo.

A idéia de auto-organização parece exigir uma compreensão mais dinâmica da forma, pois esta é inerente a um processo onde, a cada etapa, novidades ocorrem. Assim, forma biológica é um processo de modificações oriundas das variações que ocorrem ao longo do desenvolvimento de um dado sistema vivo. Um sistema vivo é um complexo de formas aninhadas em vários níveis de organização que se modificam com o passar do tempo.

### Forma e cognição

Até aqui, procuramos inserir a questão da forma dos sistemas viventes num panorama não puramente mecânico e reducionista. Procuramos ter uma compreensão mais dinâmica e complexa de um universo que inspira criatividade.

---

<sup>2</sup> A metamorfose das plantas, 1790.

<sup>3</sup> The fractal geometry of nature, 1983

Tal perspectiva encontra suas raízes na teoria sistêmica inaugurada por Ludwig von Bertalanffy entre as décadas de 30 e 60; e na cibernética das décadas de 60 e 70, conhecida como *segunda cibernética*, onde se desenvolveram as pesquisas com sistemas auto-organizados (Bertalanffy, 1993[1968]<sup>4</sup>; Capra, 1997 e Dupuy, 1995).

Uma das teorias desenvolvidas neste contexto ficou conhecida como Teoria de Santiago, cujo conceito fundamental é o de autopoiese. Como já vimos, a organização autopoietica é a característica que define os seres vivos por produzirem-se continuamente a si mesmos, conferindo-lhes autonomia, isto é, a propriedade de especificar suas próprias leis, aquilo que é próprio deles. Neste sentido, estrutura e organização são inseparáveis, ou seja, uma unidade autopoietica é realizada por componentes e um conjunto de relações entre estes que definem uma forma específica, uma organização própria (Maturana & Varela, 1995 [1987] e 1997).

Na teoria emergente dos sistemas vivos, o processo de incorporação contínuo de um padrão de organização autopoietico numa estrutura dissipativa é identificado com a cognição, o processo do conhecer. Assim, na Teoria de Santiago a mente é deslocada de um sistema nervoso central, passando a ser considerada como um processo que envolve percepção, emoção e ação. Toda a estrutura dissipativa do organismo participa do processo de cognição, quer um organismo tenha um cérebro ou não. O cérebro é encarado como uma estrutura específica por meio da qual o processo de cognição opera (Capra, 1997).

Segundo a teoria de Maturana e Varela, as mudanças estruturais num sistema autopoietico constituem atos de cognição. Ao especificar quais perturbações vindas do meio ambiente desencadeiam suas mudanças, o sistema “gera um mundo”, isto é, desenvolve e replica estruturas e funções metabólicas ao longo de sua vida. O fenômeno específico subjacente a este processo de cognição é o acoplamento estrutural (interações com o meio onde se encontra, incluindo outras unidades autopoieticas). Nestas interações, o ambiente apenas desencadeia as mudanças estruturais das unidades autopoieticas, não as determina (Maturana e Varela, 1995 [1987] e 1997).

---

<sup>4</sup> General System Theory, 1993 (ed. rev.)

A cognição envolve dois tipos de atividades que são inextricavelmente ligadas: a manutenção da autopoiese e a “criação de um mundo”. Com as mudanças estruturais de um organismo sendo atos de cognição, seu desenvolvimento está sempre associado à aprendizagem.

Para exemplificar, tomemos o desenvolvimento de uma planta em um ambiente perturbado (com muito ruído). A planta necessita se adaptar às condições inóspitas, como falta de água ou nutrientes, nas quais está se desenvolvendo. Para tanto, em função dos sinais que recebe do meio, ela desencadeia uma séria de alterações, que vão desde o nível molecular até o morfológico, para se adequar ao ambiente. Tal mecanismo, que visa a manutenção da organização básica da planta ou qualquer outro ser vivo, é conhecido como homeostase. Podemos dizer que uma planta é capaz de aprender a viver em meios diferentes.

O comportamento sexual entre os animais é outro exemplo interessante de ação cognitiva. Quando um macho ou uma fêmea estão a procura de um parceiro para a reprodução, elementos como a simetria e proporções de formas e cores podem ser fatores determinantes para a escolha do cônjuge. Podemos considerar que o reconhecimento de padrões, e porque não de beleza, entre os seres vivos da Natureza são atos cognitivos fundamentais para a manutenção e evolução das espécies por seleção natural. Os organismos menos belos, de uma forma geral, encontram maiores dificuldades de encontrar um parceiro para o acasalamento em épocas de desproporções entre o número de machos ou fêmeas.

Na Teoria de Santiago, a cognição é parte integrante da maneira como um organismo vivo interage com seu meio. Ele não reage aos estímulos por uma cadeia linear de causa e efeito, mas responde a eles através de mudanças estruturais em sua rede autopoietica não-linear. Esta interação é inteligente. A inteligência se manifesta na riqueza e na flexibilidade do acoplamento estrutural de um organismo (Capra, 1997). Tal perspectiva encontra apoio nas idéias de que existem variedades de inteligência e não apenas um padrão, a inteligência é uma propriedade de processos, não de seres predeterminados (Khalifa, 1995). Desta forma, parece haver uma estreita relação entre a autonomia de um sistema e sua cognição. Assim, quanto mais autônomo for o sistema, maior será sua capacidade cognitiva até o limiar da própria consciência.

Neste sentido, podemos caracterizar uma planta ou qualquer outro ser vivo como dotado de inteligência cinética e potencial. De acordo com Richard Gregory (1995), a primeira diz respeito a inteligência do processo de resolução de problemas, como por exemplo a adaptação a um meio com muito ruído, a segunda diz respeito a inteligência do conhecimento armazenado, por exemplo no ADN ou nas relações entre componentes (metabolismo). A resolução de problemas é o resultado de alterações estruturais do ser vivo em função de seu acoplamento estrutural com o ambiente biótico e abiótico.

E sobre a consciência? Poderíamos nos arriscar a dizer algo sobre ela no mundo biológico como uma propriedade geral?

Benny Shanon (1997) identifica na conceitualização clássica de John Loke três tipos de consciência (con1, con2, con3). Con1, a mais rudimentar, diz respeito a capacidade de percepção, e distingue um ser inanimado de um vivo. Con2 refere-se à capacidade mental de perceber itens e cenários dentro da própria mente. E con3 à capacidade de ação reflexiva ligada à simulação de ação na realidade virtual da mente. Sendo assim, o máximo a dizer permitido neste contexto é que a con1 é o único tipo de consciência generalizável ao universo biológico. Portanto, a questão da consciência, semelhante a humana, não seria pertinente ao processo biológico geral.

O ponto de vista da Teoria de Santiago nos permite inserir, no cenário do estudo da morfogênese, as teorias de Rupert Sheldrake sobre os campos mórficos. Segundo Sheldrake, a organização dos seres vivos em seus diversos níveis, das moléculas aos seres completos, depende das formas efetivas assumidas por membros anteriores da espécie. Tais campos contêm uma espécie de memória coletiva, à qual recorre cada membro da espécie e para a qual cada um contribui. Os campos, segundo a teoria da causação formativa, constituem os meios pelos quais os hábitos de cada espécie são formados, mantidos e herdados. Não envolve transferência de energia, mas de informação (Sheldrake, 1985, 1988).

### **Observações finais**

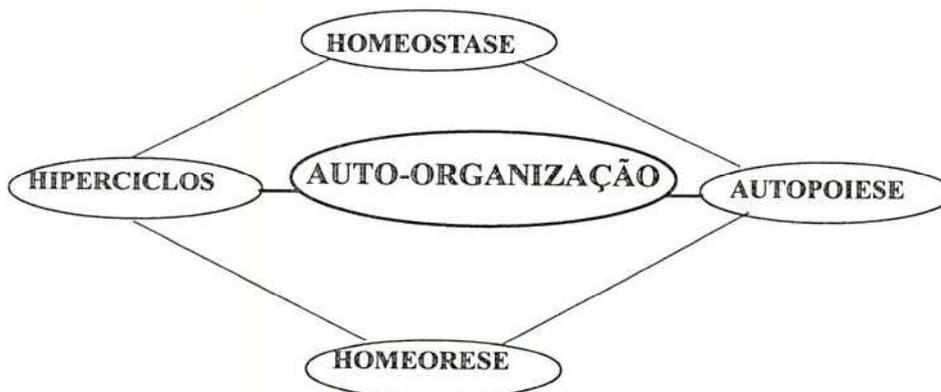
Procuramos aqui argumentar que, para uma maior compreensão dos sistemas biológicos, faz-se necessário considerar elementos não estáticos e, acima

de tudo, as interdependências existentes nas várias escalas de um sistema biológico e destes com o meio circunjacente. Uma boa analogia para isto é pensar em teias dentro de teias formando um inextricável complexo interconectado.

Deste tipo de organização surgem processos emergentes, que não estão contidos nas partes de um sistema maior, como é o caso da razão humana ou mesmo da consciência, que só se pode identificar em organismos inteiros. Outro exemplo simples de emergência está no fato de existirem células com funções altamente especializadas, como as células de um fígado animal ou as células do tecido condutor de uma planta, que não sobreviveriam fora de um organismo.

Não há dúvidas quanto aos benefícios que ramos da biologia moderna, como a genética e a biologia molecular, trouxeram para a humanidade, haja vista os grandes desenvolvimentos nas áreas médicas. Entretanto, pouco nos têm dito sobre como um organismo realmente se desenvolve, sua dinâmica e transições de fase. Neste sentido, destaca-se a importância das novas teorias da complexidade lançando uma nova luz sobre um dos principais problemas da biologia: a origem das formas. Uma vez que tal problema possa ser melhor equacionado, certamente novas portas se abrirão para a compreensão de fenômenos como os da evolução, ecologia e dos próprios mecanismos moleculares.

Talvez possamos representar o fenômeno da auto-organização como um processo dinâmico de construção e manutenção da organização de estruturas dissipativas, envolvendo em biologia, quatro propriedades básicas interagindo entre si: homeostase, homeorese, autopoiese (cognição) e hiperciclos (ver esquema).



Estas interações atuam mesclando fases de instabilidade e estabilidade na construção e organização dos sistemas vivos. Estes sistemas apresentam propriedades que emergem ao longo do processo caracterizando formas e propriedades específicas para cada tipo de organismo, isto é, originam padrões de comportamento típico, por exemplo, de espécies.

Entretanto, como esta dinâmica complexa é sensível às condições iniciais, teremos populações de indivíduos com características diferentes representando um determinado padrão, uma vez que não existem ambientes ou microambientes de formação exatamente iguais no espaço-tempo. Por exemplo, árvores em geral apresentam uma estrutura de copa que segue um padrão de construção através de bifurcações de ramos, todavia, nota-se claramente que nenhuma árvore é exatamente igual a outra, mesmo pertencendo a uma mesma população. Assim, uma população pode ser definida como um conjunto de unidades (moléculas, células, indivíduos) que possuem um determinado padrão comum de organização embora com menores ou maiores diferenças. E são estas diferenças que garantem a possibilidade de evolução dos sistemas biológicos em vários níveis.

Um exemplo disto é o que ocorre ao longo do processo morfogênético de plantas. Podemos identificar a ação das propriedades auto-organizadoras em todos os seus estágios. Na embriogênese, estágio inicial que caracteriza a formação do embrião da planta, percebemos o papel fundamental de instabilidades no processo de difusão de morfogens na fundamental etapa da polarização celular originando uma quebra de simetria. Uma destas quebras de simetria, por exemplo, dá origem à polarização que caracteriza a formação inicial de um polo caulinar e de um polo radicular no embrião. Outras quebras de simetria podem ser responsáveis pelas demais etapas de diferenciação dos tecidos e órgãos que formam o corpo vegetal.

É importante destacar que, embora possam ocorrer muitas perturbações de origens ambientais, interna e externamente à planta, um padrão característico de formação do corpo vegetal é mantido através de processos de regulação interna (homeostase) dentro do limite de sua plasticidade genotípica e fenotípica. Isto é possível devido a variedade populacional que ocorre em todos os níveis de organização da planta, permitindo microadaptações ao longo do processo

morfogenético e, paradoxalmente, a redundância informacional presente no código genético de cada célula, que basicamente é o mesmo. Desta forma, como podem ocorrer infinitas pequenas variações ambientais, teremos uma gama de inúmeras pequenas variações no padrão estrutural e funcional de uma dada população de plantas, embora subsista um padrão organizacional.

Um exemplo dramático destas variações são as adaptações e modificações de organismos em resposta a diferentes tipos de estresses (perturbações) ambientais como a falta de água, oscilações térmicas, excesso ou deficiência de algum nutriente entre outros. As respostas a estas perturbações vão desde a síntese diferenciada de algumas proteínas, acúmulo de reservas de nitrogênio em forma de aminoácidos e/ou de carbono em forma de açúcares, até modificações na estrutura morfológica interna e externa, como variações nos arranjos celulares dos tecidos e variação nas taxas de crescimento corporal. Todas estas modificações ocorrem em função de controles de auto-regulação e auto-reparo inerentes a todos os seres vivos, dentro dos limites de sua sobrevivência mantendo-se sua estrutura adequadamente estável.

Para finalizar, é importante chamar a atenção para o problema do paradigma no qual se está trabalhando. Embora aqui se faça uma crítica ao reducionismo dominante nas ciências biológicas, não se propõe, tão pouco, uma abordagem puramente holística, que talvez seja tão simplificadora quanto o reducionismo. Estamos falando de uma abordagem complexa, onde a compreensão da dinâmica e da estrutura das partes de um sistema são tão importantes quanto a dinâmica geral emergente no sistema.

O estudo das formas biológicas, de sua dinâmica e de seu desenvolvimento encerra uma área extremamente promissora para uma melhor compreensão da vida como propriedade, do processo vital e cognitivo dos seres viventes.

## Referências Bibliográficas

- ATLAN, H. *Entre o cristal e a fumaça*. Rio de Janeiro: Zahar, 1992.
- AYRES, R. U. *Information, entropy, and progress: a new evolutionary paradigm*. New York: AIP Press, 1994.
- BAK, P., CHEN, K. Self-organized criticality. *Scientific American*, p. 26-33, jan. 1991.
- BAK, P. Descoberto o limite do caos. In: LEWIN, R. *Complexidade: a vida no limite do caos*. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.
- BACK, P. *How nature works?: the science of self-organized criticality*. New York: Springer-Verlag, 1996.
- BRANDÃO, I. *A forma*. UNICAMP, 1998. (Seminários CLE Auto-organização).
- CAPRA, F. *A teia da vida*. São Paulo: Cultrix, 1997.
- DUPUY, J.-P. *Nas origens das ciências cognitivas*. São Paulo: UNESP, 1995.
- EIGEN, M. Molecular self-organization and the early stages of evolution. *Quarterly Reviews of Biophysics*, v. 4, n. 2/3. p. 149-212, 1971.
- GREGORY, R. Vendo a inteligência. In: KHALFA, J. *A natureza da inteligência*. São Paulo: UNESP, 1996.
- JANTSCH, E. *The self-organizing universe: scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*. Oxford: Pergamon Press, 1992.
- KHALFA, J. *A natureza da inteligência*. São Paulo: UNESP, 1995.
- MACHLINE, V. C. et al. *Forma e ciência*. São Paulo: Educ, 1995.
- MAINZER, K. *Thinking in complexity: the complex dynamics of matter, mind, and mankind*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- MATURANA, H. R. *Da biologia à psicologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- MATURANA, H. R., VARELA, F. G. *A árvore do conhecimento*. Campinas: Ed. Psy, 1995.
- \_\_\_\_\_. *De máquinas e seres vivos. Autopoiese - a organização do vivo*. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- NOËL, E. (Org.) *As ciências da forma hoje*. Campinas: Papyrus, 1996.
- PEREIRA JÚNIOR, A., GUIMARÃES, R., CHAVES JÚNIOR, J. Auto-organização na biologia: nível ontogenético. In: DEBRUN, M, GONZALES, M. E. Q., PESSOA JÚNIOR, O. *Auto-organização: estudos interdisciplinares em filosofia, ciências naturais e humanas, e artes*. Campinas: UNICAMP, 1996. (Coleção CLE).
- PRIGOGINE, I., STENGERS, I. *Entre o tempo e a eternidade*. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

- SATTLER, R. Towards a more dynamic plant morphology. *Acta Biotheoretica*, v. 38, p. 303-15, 1990.
- SHANON, B. The tree types of consciousness. In: GONZALES, M. E. Q. (Org.) et al. *Encontro com as ciências cognitivas*. Marília: UNESP, 1997. v. 1. p. 227-39.
- SHELDRAKE, R. *The new science of life*. London: Flamingo, 1985.
- \_\_\_\_\_. *The presence of the past*. London: Harper Colins, 1988.
- SOUZA, G. M. *Ciência da complexidade e a morfogênese vegetal : uma abordagem da auto-organização*. UNICAMP, 1997. (Texto elaborado para o Seminário CLE Auto-organização).
- \_\_\_\_\_. Aspectos cognitivos e auto-organizadores da morfogênese em plantas. In: ENCONTRO BRASILEIRO/INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS COGNITIVAS, 3, Campinas, 1998. (no prelo).
- STEWART, I. *Os números da natureza*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.
- WEYL, H. *Simetria*. São Paulo: Edusp, 1997.