

## Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental

Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.

ISSN 1517-1256

Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental

*Volume especial, outubro de 2004.*

### Por que os átomos são tão pequenos?

Prof. Jorge Alberto Castro  
Departamento de Ciências Fisiológicas – FURG  
jacastro@octopus.furg.br

#### **Esta pergunta foi formulada em 1933**

As questões interdisciplinares ocuparam parte importante na vida de Erwin Schrödinger, o destacado físico austríaco que criou uma representação ondulatória da matéria. Suas conferências e livros de temática ampla, que poderiam parecer de pura divulgação, embora não o sejam, revelam esta faceta de sua personalidade.

“Por que são os átomos tão pequenos?” foi o título de uma palestra que Schrödinger proferiu na Academia Prussiana de Ciências (Berlim), poucos meses antes de receber o Prêmio Nobel, compartilhado com Paul Dirac, em 1933. Ele repetiu a pergunta no início de seu livro “O que é vida?”, publicado em 1944, e dela partiu para desenvolver toda a obra.

#### **Erwin Schrödinger e Edgar Morin**

Escreve Schrödinger no Prefácio de “O que é vida?”:

“Espera-se que um cientista tenha conhecimento completo e profundo, em primeira mão, de alguns assuntos e, portanto, que não escreva sobre qualquer tópico no qual não seja um mestre. Isso é considerado algo de *noblesse oblige*. Para o

propósito presente, peço licença para renunciar à *noblesse*, se há alguma, e ser liberado da obrigação resultante. Minha desculpa é:

Herdamos de nossos antepassados um profundo desejo por um conhecimento unificado e abrangente. O próprio nome dado às mais altas instituições de ensino nos faz lembrar que, desde a Antigüidade e através de muitos séculos, o caráter *universal* tem sido o único a que se dá total crédito. Mas o alargamento nos singulares últimos cem anos das múltiplas ramificações do conhecimento, tanto em extensão como em profundidade, confrontou-nos com um difícil dilema. Sentimos claramente que só agora começamos a adquirir material confiável para reunir tudo o que se sabe em uma só totalidade. Mas, por outro lado, tornou-se quase impossível para uma só mente dominar por completo mais que uma pequena porção especializada desse conhecimento.

Não vejo outra saída para esse dilema (sob o risco de perder nosso objetivo para sempre) que nos aventurarmos a embarcar, alguns de nós, numa síntese de fatos e de teorias, ainda que munidos de conhecimento incompleto e de segunda mão sobre alguns deles, e sob o risco de parecermos tolos”.

Reunidos nesta ocasião para estudar a “complexidade” dentro da concepção de Edgar Morin, citemos um trecho deste filósofo, que mostra um curioso paralelismo com o pensamento de Schrödinger:

Escreve Morin em seu livro “O método 1: a natureza da natureza”:

“Todo neófito que começa a pesquisar é obrigado a renunciar ao saber. Ele é convencido de que a época de homens como Pico Della Mirandola terminou há três séculos e que agora é impossível de se constituir uma visão do homem e do mundo.

Demonstram-lhe que o aumento das informações e a heterogeneização do saber ultrapassam qualquer possibilidade de gravação e de tratamento pelo cérebro humano. Asseguram-lhe que ele não deve lamentar, mas ficar feliz com este fato. Ele deverá, portanto, consagrar toda sua inteligência a um saber específico”.

### **Resposta à questão inicial**

Destacada a afinidade entre os pensamentos de Schrödinger e de Morin, retornemos à colocação inicial: “Por que são os átomos tão pequenos?”

Para responder, Schrödinger transforma a questão em outra equivalente. Os átomos nos parecem pequenos porque estamos constituídos por grande quantidade deles. Então, por que os organismos vivos (incluindo nosso próprio corpo) estão constituídos por quantidades inimagináveis de átomos? Schrödinger destaca que os processos físicos e químicos básicos no funcionamento dos organismos precisam da participação de grandes quantidades de átomos para realizar-se previsível e seguramente. Os átomos estão agitados, o tempo todo, por um movimento térmico, o que impede que eventos desenvolvidos entre pequenos números de átomos se submetam a leis reconhecíveis macroscopicamente (Fig. 1). Em uma estrutura constituída por poucos átomos, seriam impossíveis processos biológicos elementares, como a locomoção em um sentido determinado. Com maior motivo, não existiria o próprio pensamento que cria o conceito de átomo e com ele trabalha.

### **Uma nova questão surge da resposta à questão inicial: a ordem**

Em seguida, Schrödinger nota que um organismo vivo é uma estrutura ordenada, apesar de estar necessariamente constituído por grande quantidade de partículas (Fig. 2). Mas a agitação térmica e outros comportamentos estatísticos com ela relacionados tendem a desordenar qualquer estrutura. Joguemos uma colherada de açúcar em um copo com água. Teremos formado um sistema estruturado (muito simples se comparado com um ser vivo), constituído por duas partes, açúcar sólido no fundo e água em cima. Passado um tempo, este sistema terá perdido sua estrutura original; o açúcar estará dissolvido na água. Assim, respondida a pergunta inicial, surge uma segunda pergunta: como é produzida e mantida a ordem de um ser vivo, constituído por tantos átomos? Trata-se de entender, por exemplo, como uma célula ovo, já surpreendentemente complexa e ordenada pode gerar um ser pluricelular, ainda mais complexo e ordenado.

Schrödinger responde esta pergunta, de modo original e rigoroso, em estilo acessível para um público amplo. Ele distingue duas maneiras de produzir-se ordem, ambas interessantes em biologia: a ordem a partir da desordem e a ordem a partir da ordem.

### **A ordem a partir da desordem**

O organismo vivo recebe ordem (ordenação) de seu ambiente. Torna-se ordenado às custas de uma perda de ordem no ambiente.

Um modelo físico permite ilustrar a idéia (Fig. 3). Considerar um “universo”, constituído por um organismo e seu ambiente. O ambiente, neste exemplo, está constituído por duas partes, idênticas quanto a sua constituição, mas inicialmente com diferentes quantidades de energia térmica (diferentes temperaturas). O sistema que representa o organismo, cuja constituição explicaremos depois, se encontra entre as duas partes do ambiente. Se ocorre uma transferência de energia (térmica) desde a parte de maior energia para a parte de menor energia, o ambiente, considerando suas duas partes conjuntamente, passa de um estado mais ordenado para um estado menos ordenado. Observe-se, com auxílio da Figura 3, que o esquema final de distribuição de energia entre as partículas seria mais facilmente “esperado”, enquanto seria impossível saber qual era o esquema inicial depois que ele ficou destruído pela transferência de energia. Note-se, entretanto, que a energia total do ambiente não se modificou. Apenas ela está distribuída menos ordenadamente entre suas partículas. Estas noções são formalizadas, em estudos mais avançados, mediante o conceito de “entropia”, ao qual não precisamos recorrer aqui. Diria-se que a entropia do ambiente é maior depois do que era antes, ou que a entropia do ambiente aumentou.

Prestemos atenção agora ao organismo, que se encontra entre as duas partes do ambiente, permitindo a passagem de calor de uma para a outra.

Vamos escolher um sistema de constituição peculiar, capaz de ordenar-se enquanto o ambiente está se desordenando. Não todo sistema exibiria este comportamento. Em muitos, ao passar o calor, não encontraríamos nenhuma indicação de que esteja ocorrendo um ordenamento dentro deles. Mas, se colocamos uma camada de óleo entre as duas partes do ambiente, ocorrerá o fenômeno chamado “convecção de Rayleigh-Bénard” (Fig. 4).

A convecção de Rayleigh-Bénard pode ser facilmente demonstrada no laboratório colocando uma camada de óleo entre as superfícies paralelas de duas placas metálicas, uma quente e outra fria. A massa de óleo circula dentro do volume no qual ela está confinada, girando em trajetórias fechadas (“rolos”). Para facilitar a visualização desse movimento, pode-se suspender pó de alumínio no óleo e aproveitar seu brilho para filmar ou fotografar. Não tentaremos, nem interessa, expor aqui a teoria da convecção de Rayleigh-Bénard, que foi descoberta há dois séculos. Importa mais notar a semelhança com o comportamento de um organismo vivo: ela apresenta estrutura e movimento. A massa de óleo mantém-se organizada e em movimento, enquanto o ambiente se desordena.

Assim fica ilustrada a idéia de ordem a partir da desordem, como entendida por Schrödinger. Vale a pena destacar que também Morin se refere brevemente a convecção de Rayleigh-Bénard, em contexto semelhante (“O método 1: a natureza da natureza”, pág. 60), embora sem referência específica à vida.

### **A ordem a partir da ordem**

Mas não toda a ordem de um organismo vivo se origina como ordem a partir da desordem. Existe também uma ordem transmitida geneticamente. Os conceitos de gene e de mutação já eram correntes em 1944, quando foi publicado o livro de Schrödinger. Entretanto, nada se sabia sobre a estrutura ou a natureza das moléculas envolvidas. No mesmo

ano, Avery, McLeod e McCarthy estavam identificando o ADN como uma molécula depositária de informação genética. A estrutura do ADN, que permitiu entender o mecanismo da codificação genética, foi esclarecida dez anos mais tarde, por Watson e Crick.

Schrödinger se pergunta como um gene pode permanecer inalterado durante séculos, passando de uma geração para a seguinte, sem ser perturbado pela agitação térmica. Ele elabora um modelo da estrutura molecular do gene, que explica sua durabilidade e sua permanência. Em 1935, o físico alemão Max Delbrück, que depois se dedicou à biologia, já tinha notado que grandes moléculas formadas por ligações covalentes estavam dotadas de suficiente estabilidade para armazenar informação genética. Tratava-se de uma aplicação da física quântica, recentemente desenvolvida. As grande moléculas biológicas conhecidas em 1935 possuíam uma periodicidade espacial, indicada por sua capacidade de formar cristais. Entretanto, uma molécula com periodicidade espacial não é capaz de codificar muita informação, porque, quando conhecida uma pequena parte dela, fica determinada a disposição dos átomos em toda ela. Então, Schrödinger imagina um “cristal aperiódico”, no qual a informação poderia ficar armazenada como em um trecho escrito em código Morse (Fig. 5). Este “cristal aperiódico” imaginado em 1943 é o que atualmente chamamos ácido nucléico.

### **A vida se baseia em leis físicas?**

Esta é a última questão, dentro da seqüência deflagrada pela pergunta “por que são os átomos tão pequenos?”. Trata-se, também, do título do Capítulo 7, final, de “O que é vida?”.

Todo o trabalho filosófico de Schrödinger se desenvolveu sob a influência do “movimento pela unidade da ciência”, uma das principais facetas da escola filosófica de Viena, na década de 1920, que defendia o compartilhamento das mesmas leis, métodos e linguagens, por todas as

ciências. A física era vista como uma “ciência modelo”. Era grande a tentação de ancorar a biologia nas leis da física, vendo os seres vivos como conjuntos de partículas, portanto redutíveis a conceitos físicos gerais.

Sem contradizer esta abordagem, a resposta de Schrödinger é mais elaborada. Os seres vivos são diferentes e únicos. Talvez sejam, um dia, explicados pelas leis da física, mas não necessariamente as já conhecidas. O autor se expressa mediante uma interessante metáfora:

“[...] um engenheiro, familiarizado apenas com máquinas de vapor, estará preparado, depois de inspecionar a construção de um motor elétrico, para descobrir que este funciona baseado em princípios que ele ainda não entende. Ele vê o cobre, que lhe é familiar por seu uso em caldeiras, usado aqui sob a forma de longos fios enrolados em bobinas; o ferro, que lhe é familiar em alavancas, barras e cilindros de máquinas de vapor, usado aqui para preencher o interior dessas bobinas de cobre. Ele estará convencido de que se trata do mesmo cobre e do mesmo ferro, sujeitos às mesmas leis da Natureza e, nisso, estará correto. A diferença na construção é suficiente para fazer com que estes materiais funcionem de uma maneira diferente. Ele não vai pensar que o motor elétrico funciona dirigido por um fantasma, só porque é posto a girar pelo movimento de um interruptor, sem fornalha ou vapor”.

Portanto, a biologia será tão útil para a física – porque levará à descoberta de novas leis – quanto a física para a biologia – porque terminará fornecendo uma explicação unificada do mundo.

Mas não apenas o pensamento evolui. Pode-se prever a evolução do próprio órgão pensante, como sugeriu Schrödinger, em uma palestra transmitida pelo Serviço Europeu da BBC, em 1950:

“Parece-me extremamente inverossímil que nossa compreensão do mundo represente um estágio definitivo ou final, um máximo ou ótimo sob qualquer aspecto. Com isto, não estou querendo dizer simplesmente que a continuação de nossa pesquisa nas várias ciências, nossos estudos filosóficos e intentos religiosos irão aperfeiçoar e melhorar nossa perspectiva presente. Não há nenhum motivo para acreditar que o nosso cérebro seja o supremo *nec plus ultra* de um órgão de pensamento no qual o mundo se reflete. É mais razoável pensar que uma espécie

possa adquirir uma engenhoca semelhante que esteja em relação com a nossa, assim como a nossa está para a do cão, ou a deste para a de uma lesma”.

## **Epílogo**

Uma pergunta aparentemente ingênua ou, até, sem sentido, conduziu, na primeira metade do século XX a visitar conceitos que mais tarde apareceram no pensamento de Edgar Morin: átomos, sistemas, ordem, probabilidade, informação e, acima de tudo, complexidade. Gerou-se uma espiral de novas respostas e novos questionamentos, cada vez mais elaborados e mais expostos a divergências de opinião, embora de interesse permanente. Com as palavras de Edgar Morin, diríamos que se trata de emergências; isto é, “qualidades ou propriedades de um sistema que apresentam um caráter de novidade com relação às qualidades dos componentes considerados isoladamente ou dispostos diferentemente em um outro sistema”. E, também aqui, como advertiu Morin, “a emergência nos coage a complexificar nossos sistemas de explicações dos sistemas”.



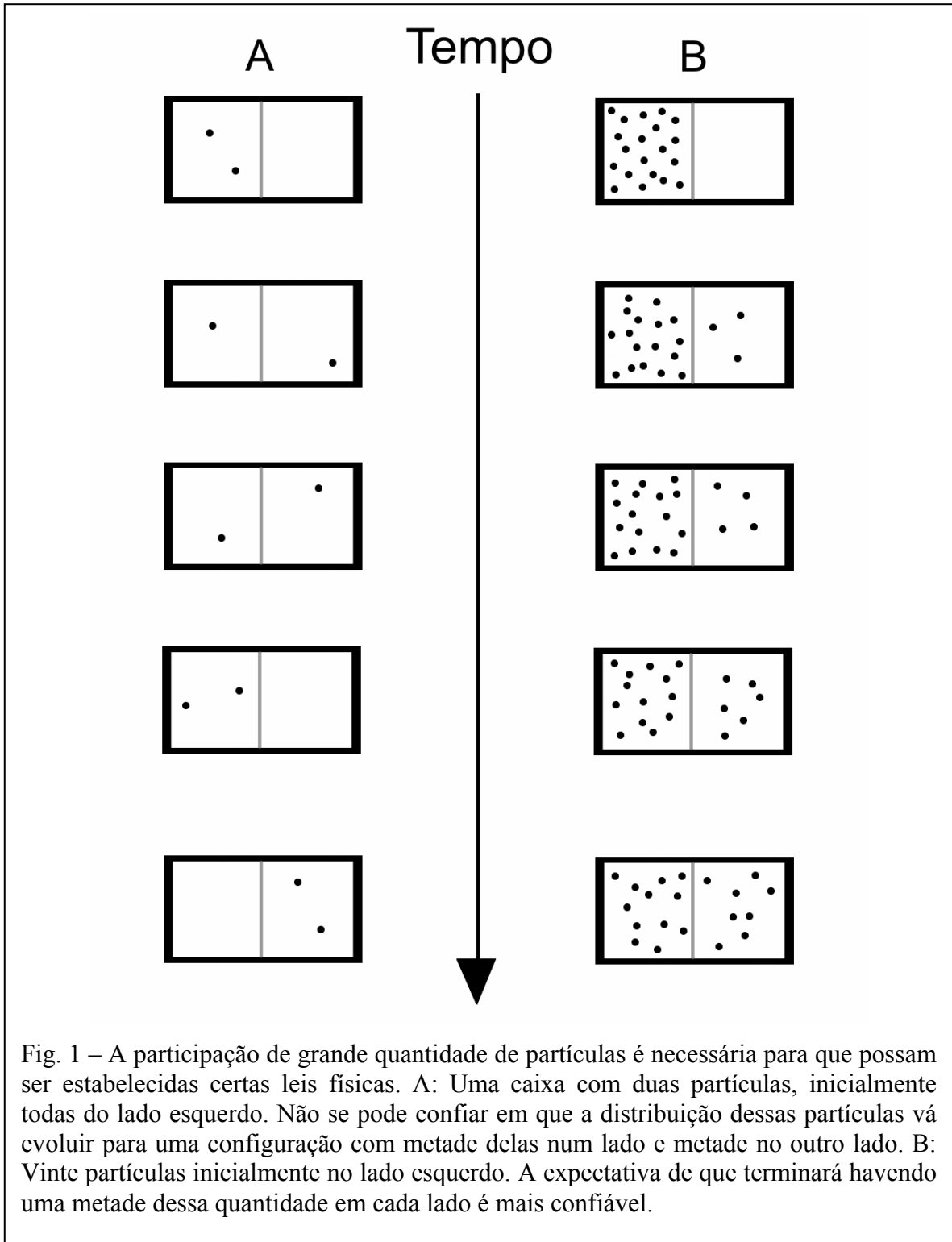


Fig. 1 – A participação de grande quantidade de partículas é necessária para que possam ser estabelecidas certas leis físicas. A: Uma caixa com duas partículas, inicialmente todas do lado esquerdo. Não se pode confiar em que a distribuição dessas partículas vá evoluir para uma configuração com metade delas num lado e metade no outro lado. B: Vinte partículas inicialmente no lado esquerdo. A expectativa de que terminará havendo uma metade dessa quantidade em cada lado é mais confiável.

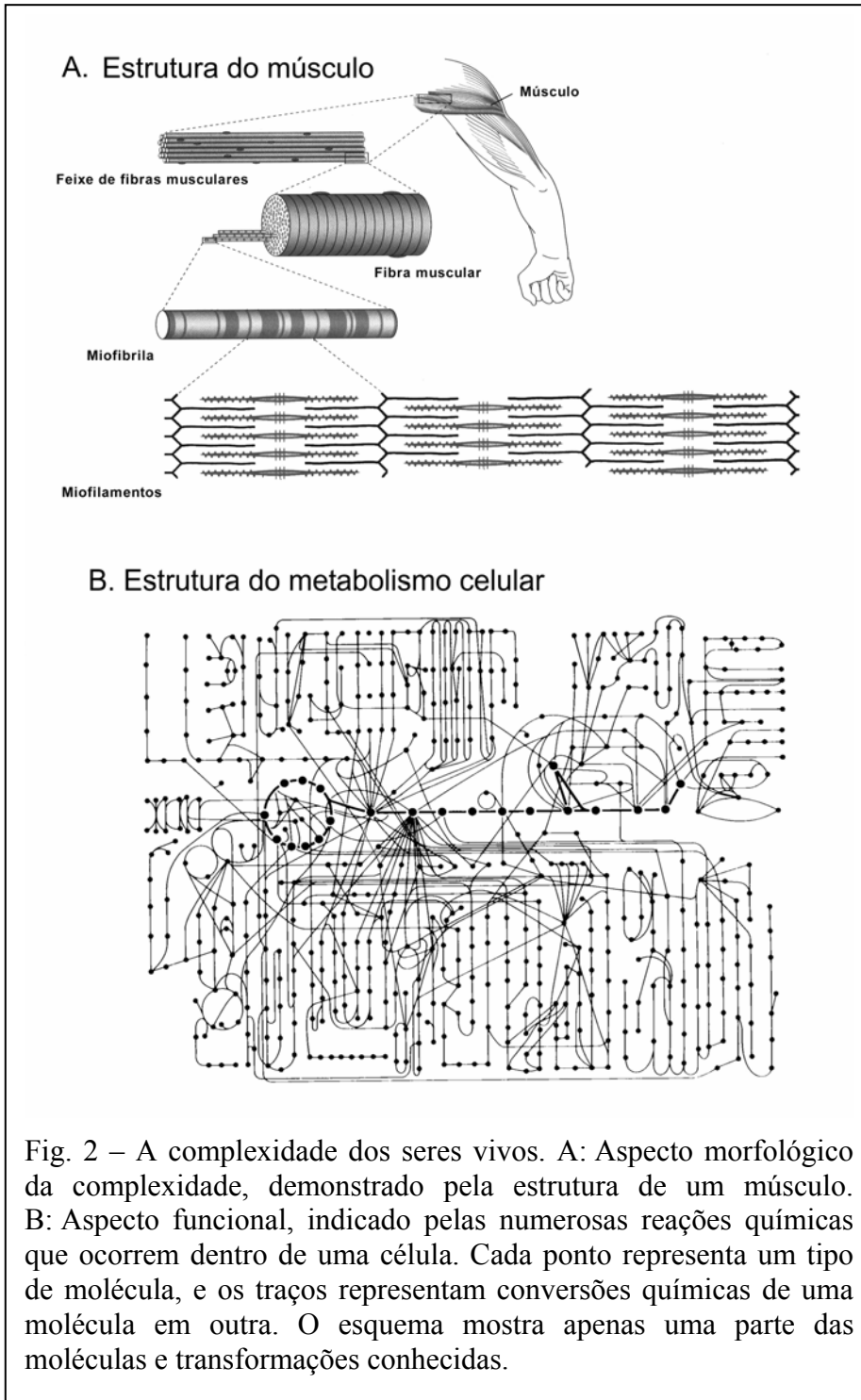


Fig. 2 – A complexidade dos seres vivos. A: Aspecto morfológico da complexidade, demonstrado pela estrutura de um músculo. B: Aspecto funcional, indicado pelas numerosas reações químicas que ocorrem dentro de uma célula. Cada ponto representa um tipo de molécula, e os traços representam conversões químicas de uma molécula em outra. O esquema mostra apenas uma parte das moléculas e transformações conhecidas.

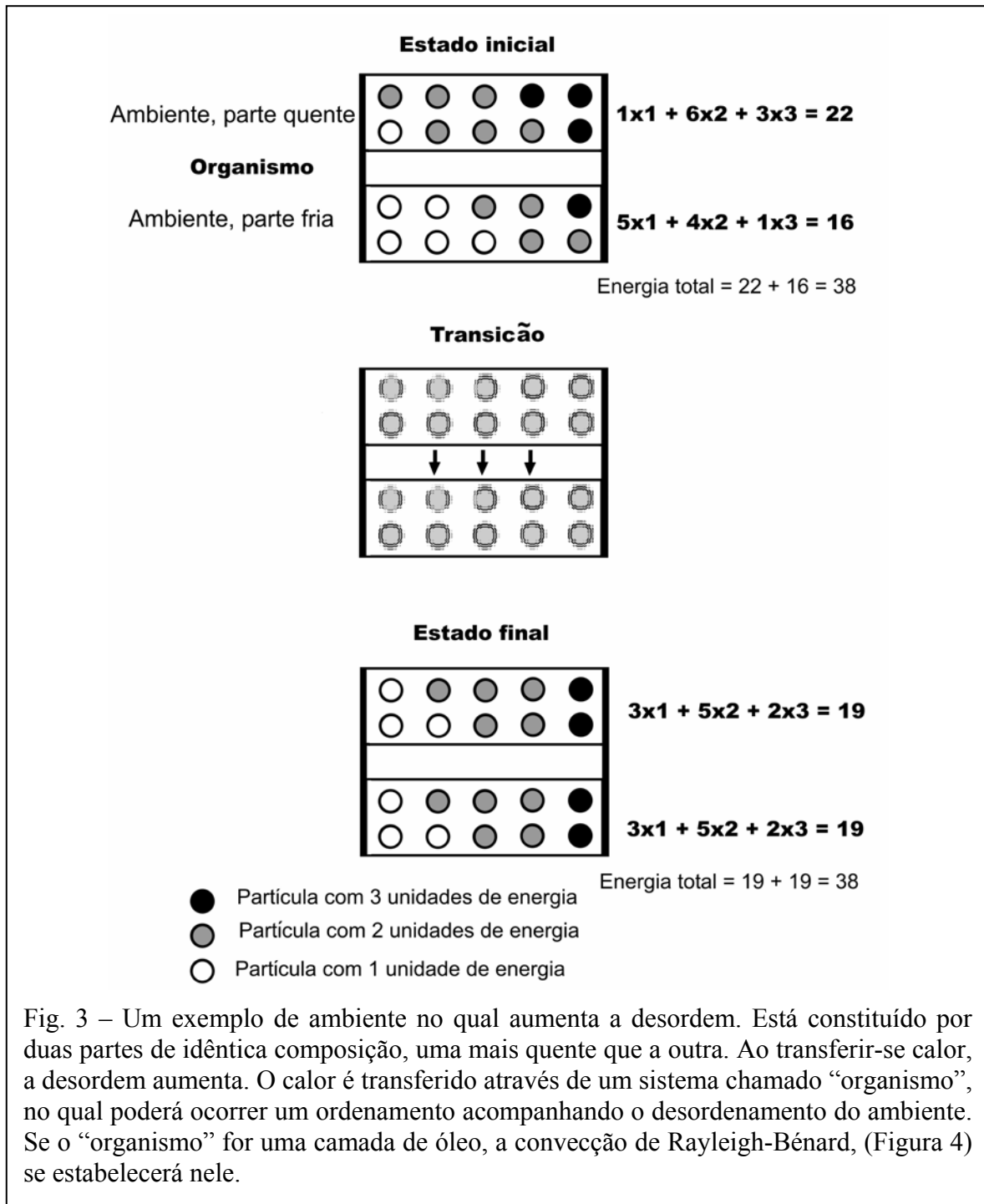
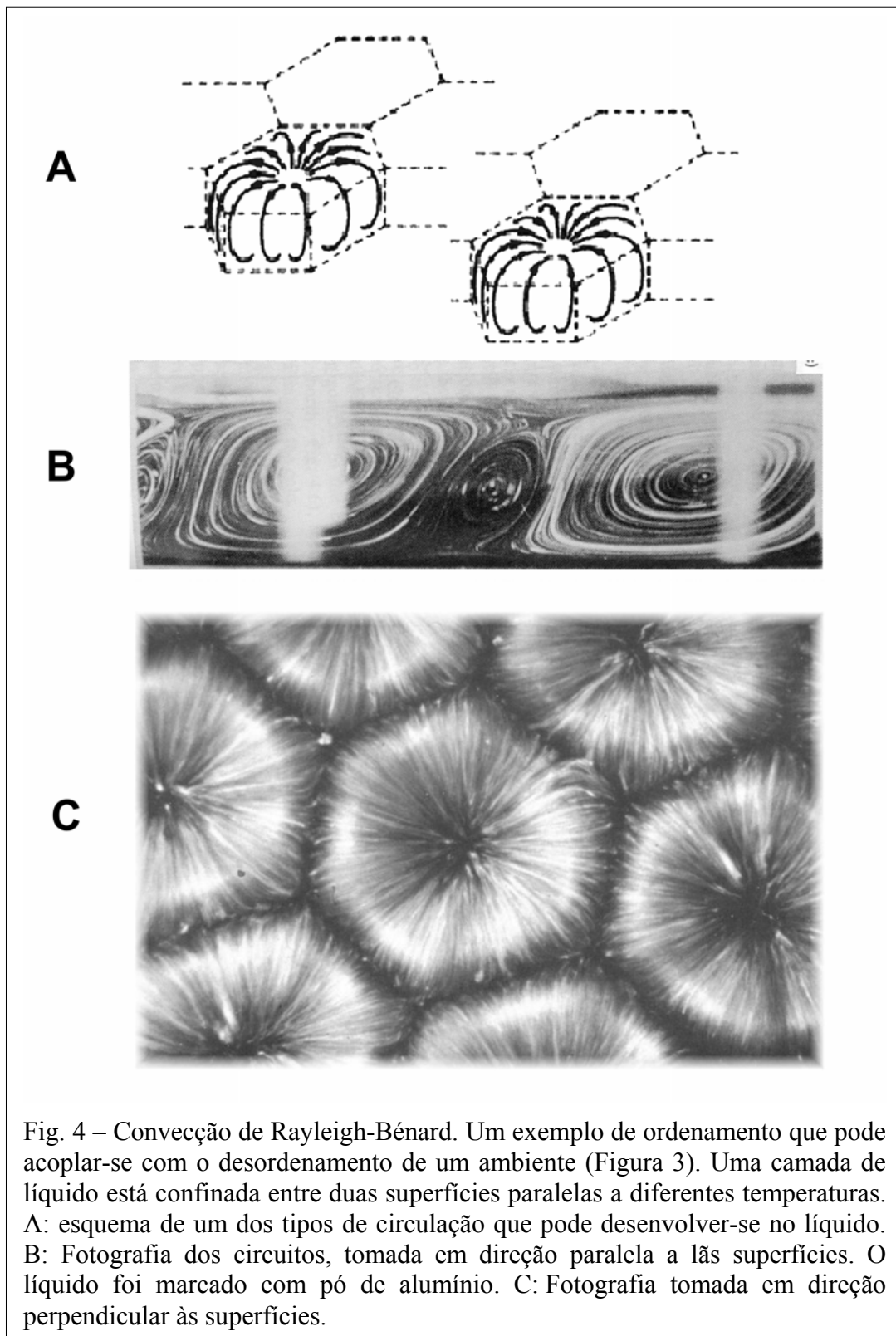
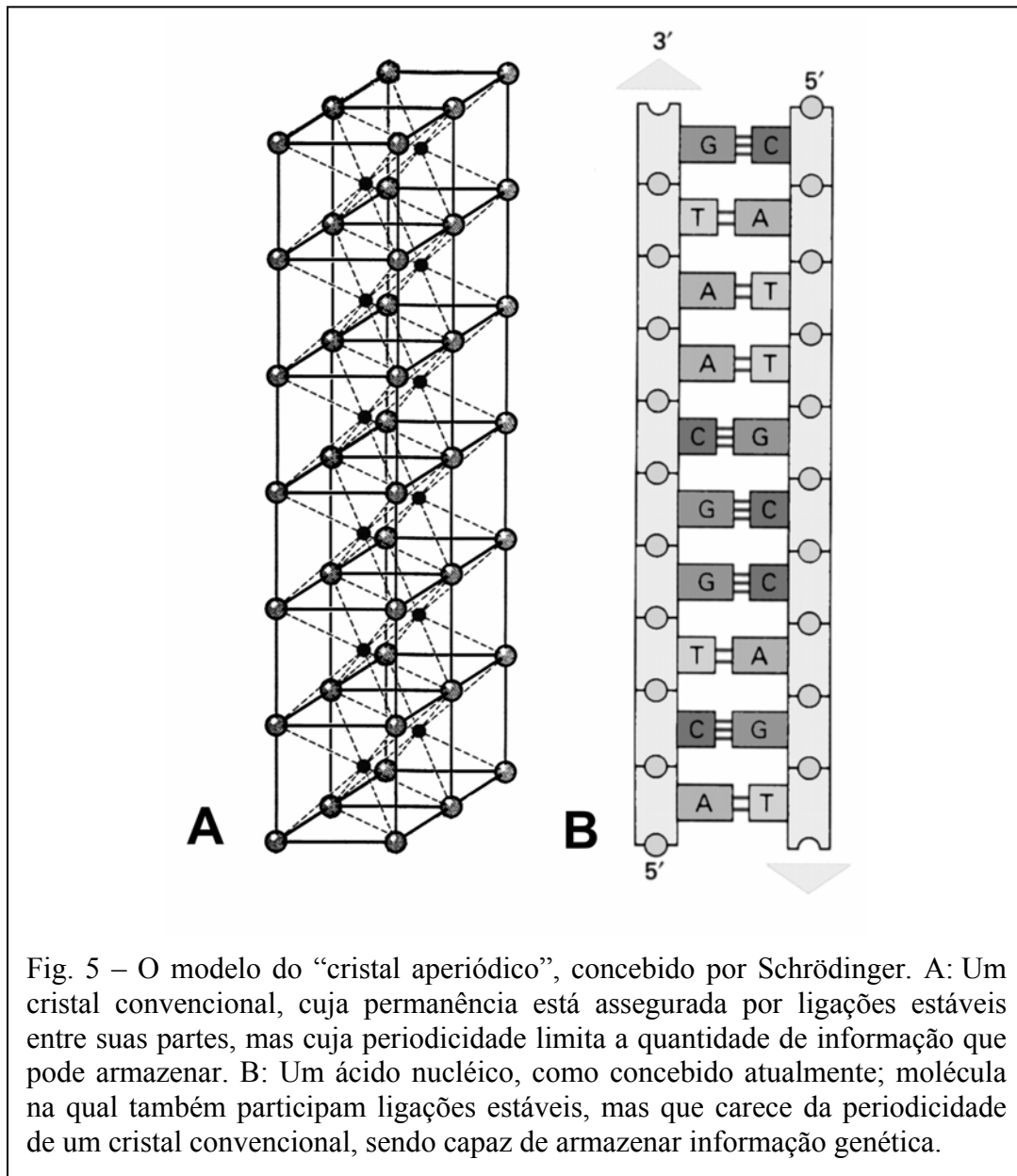


Fig. 3 – Um exemplo de ambiente no qual aumenta a desordem. Está constituído por duas partes de idêntica composição, uma mais quente que a outra. Ao transferir-se calor, a desordem aumenta. O calor é transferido através de um sistema chamado “organismo”, no qual poderá ocorrer um ordenamento acompanhando o desordenamento do ambiente. Se o “organismo” for uma camada de óleo, a convecção de Rayleigh-Bénard, (Figura 4) se estabelecerá nele.





## REFERÊNCIAS

Morin, E. La méthode 1: la nature de la nature. Paris, Éditions du Seuil, 1977. Trad. português 2003, O método: a natureza da natureza. Porto Alegre, Sulina, 2003.

Schrödinger, E. Warum sind die Atome so Klein? Forschungen und Fortschritte, 9:125-126, 1933. Trad. espanhol 2001 ¿Por qué son tan pequeños los átomos? In: Arana, J. Schrödinger. La nueva mecánica ondulatoria y otros escritos. Madrid, Biblioteca Nueva, 2001.

Schrödinger, E. What is Life? With Mind and Matter with Autobiographical Sketches. Cambridge, Cambridge University Press, 1944. Trad. português 1997, O que é vida? seguido de Mente e matéria e Fragmentos autobiográficos. São Paulo, Fundação Editora da UNESP, 1997.