

Carla Maria Pontes Carneiro

AS IDEÍAS DE PRIGOGINE SOBRE IRREVERSIBILIDADE E INDETERMINAÇÃO E SUAS CONSEQUÊNCIAS FILOSÓFICAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Filosofia da Universidade de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Área de concentração: Lógica e Filosofia da Ciência
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Margutti Pinto
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da UFMG
2003

100 Carneiro, Carla Maria Pontes
C289i As idéias de Prigogine e Stengers sobre irreversibilidade e
2003 indeterminação e suas consequências filosóficas / Carla Maria
Pontes Carneiro. – 2003.

152f.

Orientador: Paulo Margutti Pinto
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas
Gerais, Departamento de Filosofia

1. Prigogine, I. (Ilya), 1917 - . 2. Stengers, Isabelle, 1949 – 3.
Filosofia I. Pinto, Paulo Roberto Margutti II. Universidade Federal
de Minas Gerais. Departamento de Filosofia. III. Título

FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
Curso de Pós-Graduação em Filosofia (Mestrado e Doutorado)

Ata da Defesa de Dissertação de
CARLA MARIA PONTES CÂRNEIRO
Nº de Matrícula: 2001208108

Aos vinte e nove (29) dias do mês de agosto de dois mil e três (2003), reuniu-se na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Minas Gerais a Comissão Examinadora, indicada pelo Colegiado do Curso em 08/08/2003, para julgar, em exame final, a Dissertação "AS IDEIAS DE PRIGOGINE E STENGERS SOBRE IRREVERSIBILIDADE E INDETERMINAÇÃO E SUAS CONSEQUÊNCIAS FILOSÓFICAS", requisito final para a obtenção do Grau de Mestre em Filosofia, Área de Concentração: Filosofia – Linha de Pesquisa: Lógica e Filosofia da Ciência. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Paulo Roberto Margutti Pinto, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra a Mestranda CARLA MARIA PONTES CARNEIRO, para apresentação de sua Dissertação. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da Mestranda e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes notas:

- Prof. Dr. Paulo Roberto Margutti Pinto (orientador)/UFMG..... 90
- Prof. Dr. Ernesto Perini Frizzera da Mota Santos/UFMG 90
- Prof. Dr. Alfredo Pereira Júnior/UNESP..... 90

Pelas notas atribuídas a candidata foi considerada aprovada com a seguinte média:90..... (MOMASAS.....).

O resultado final foi comunicado publicamente a candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 29 de agosto de 2003.

Prof. Dr. Paulo Roberto Margutti Pinto
(orientador)

Prof. Dr. Ernesto Perini Frizzera da Mota Santos

Prof. Dr. Alfredo Pereira Júnior

Observação: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo do Coordenador.

Observação: entrega do diploma condicionada
à realização de correções sob a supervisão
do orientador

Prof. Dr. Newton Bignotto de Souza
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Filosofia (Mestrado e Doutorado)
FAFICH/UFMG

correções feitas
e aprovadas

Para José Geraldo

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Paulo Roberto Margutti Pinto, meu orientador, pelo apoio, dedicação, paciência e assistência na realização deste trabalho.

Ao meu companheiro de todas as venturas e desventuras, José Geraldo Peixoto de Faria, que soube aceitar os bons e maus “tempos”.

Aos meus pais, Diva e Jorge, e irmãos, Eduardo, Robson, Flávia, Simone, Fabiana e respectivas famílias, pelos momentos juntos e pela compreensão.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida neste período.

A todos os professores e funcionários que direta ou indiretamente tornaram essa tarefa possível. Aos colegas de pós-graduação, pela oportunidade de compartilhar novas idéias. À Andréa e Andrezza, que estiveram sempre prontas a cooperar nas situações de necessidade e mesmo nas desnecessárias.

Aos amigos que estiveram presentes e aguardaram pacientemente o término deste trabalho, especialmente, à Graça (pelo apoio incondicional); à Liège (pelas boas conversas); ao Helinho (meu braço direito); à Anna Paola e Guilherme (pelas risadas); à Celeida e Shalimar (pela grande amizade); ao Fernando e Eugênia (pelas discussões); ao Luis, Corália, Seu Zé, Dane, Delma, Flávia e Rosinha (pelos café-conversas que bebemos); ao Serginho e Lí (pelas idéias); ao Marcelo, Mimi e Talita (pelos momentos lúdicos).

Aos amigos que, mesmo ausentes, marcaram presença de alguma maneira (Marcelo Caetano, Rodrigo Sarmiento, Sílvia Nicolato, Rodrigo e Rui, Valéria de Marco, Sílvia Contaldo, Dorinha, Marco Antônio Santos, Alfeu, Lúcia, João Carlos Lino), e a todos os amigos que por motivo de espaço não foram citados.

*O tempo é uma criança que brinca,
movendo as pedras do jogo
para lá e para cá;
governo de criança.
(Heráclito: Fragmento 52)*

SUMÁRIO

Introdução	9
1. A Ciência Clássica	17
1.1. Projeto da Ciência Moderna	17
1.2. A Identificação do Real	27
1.3. As Duas Culturas	38
2. A Ciência do Complexo	51
2.1. A Energia e a Era Industrial	52
2.2. Os Três Estágios da Termodinâmica	65
2.3. A Ordem por Flutuações	77
3. Do Ser ao Devir	88
3.1. O Choque das Doutrinas	89
3.2. A Renovação da Ciência Contemporânea .	99
3.3. A Síntese do Simples e do Complexo	107
4. O Reencantamento do Mundo?	110
4.1. O Fim da Onisciência	111
4.2. A Metamorfose da Ciência	114
4.3. Uma Questão em Aberto	127
Conclusão	138
Bibliografia	149

RESUMO

Neste trabalho, apresento as idéias de Prigogine e Stengers sobre a metamorfose da ciência desenvolvidas na obra "*A Nova Aliança*". Procuo mostrar como elas refletem a passagem para uma nova visão de mundo: de uma natureza determinista e reducionista para uma indeterminista, caracterizada por instabilidades e complexidades. Para ilustrar o aspecto controverso destas apresento duas posições divergentes a respeito das mesmas. A primeira refere-se à crítica de Jean Bricmont ao emprego inadequado de conceitos científicos e a segunda refere-se ao trabalho de Fritjof Capra, que procura estabelecer uma nova ordem para os fenômenos da natureza baseado em parte nas contribuições de Prigogine e Stengers.

ABSTRACT

In this work, I present the ideas of Prigogine and Stengers about the metamorphosis of science which are developed in their book "*A Nova Aliança*". I attempt to show how it reflects the transition to a new world view: from a determinist and reductionist nature to an indeterminist one, characterized by instabilities and complexities. In order to illustrate the controversial aspect of these ideas, I present two divergent positions about them. The first one refers to Jean Bricmont's criticism about the improper use of scientific concepts and the second one refers to the work of Fritjof Capra who attempts to establish a new order for the natural phenomena on the basis of the contributions of Prigogine and Stengers.

Introdução

Esta dissertação tem como objetivo mostrar algumas das consequências filosóficas das idéias de Prigogine sobre a nova maneira científica de ver os fenômenos no mundo, incluindo a vida, tais como expostas na obra *A Nova Aliança*, escrita em colaboração com I. Stengers.

Isabelle Stengers é química e filósofa da ciência e trabalha com a equipe de Prigogine, em Bruxelas. Escreveu outros livros em colaboração com Prigogine, dentre os quais se destaca *Entre o tempo e a eternidade*. A autora trabalha na Universidade Livre de Bruxelas e participa das atividades desenvolvidas na mesma.

Ilya Prigogine é, atualmente, membro do *Center for Statistical Mechanics and Thermodynamics* de Austin, Texas, Estados Unidos. Saiu de seu país de origem ainda novo e se estabeleceu na Bélgica, onde iniciou sua carreira como físico-químico na Universidade Livre de Bruxelas, influenciado pelas idéias de Théophile de Donder, no aspecto teórico da termodinâmica, e por Jean Timmermans, na parte experimental. Devido à ocupação alemã e ao encerramento das atividades nas Universidades européias, Prigogine partiu para a América, com o intuito de dar continuidade a suas pesquisas. Seu trabalho é reconhecido e, em 1977, agraciado com o Nobel de Química. Publicou, na mesma época, a obra *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, escrita em colaboração com G. Nicolis.

Seu interesse científico se volta para o estudo dos fenômenos irreversíveis, considerando o papel destes fenômenos nos seres vivos, culminando com a formulação do conceito de *estrutura dissipativa*. Este conceito surge, pela primeira vez, na comunicação *Structure, Dissipation and Life*, sendo tratado a fundo, mais tarde, na obra *Structure, Stabilité et Fluctuations*, elaborada juntamente com Paul Glansdorff. O conceito de *estrutura dissipativa* abrange questões como a origem, evolução e manutenção da vida. O seu estudo está associado à teoria dos sistemas complexos e à física não-linear, uma vez que a propriedade de não-linearidade é fundamental ao comportamento complexo e à emergência de estruturas dissipativas. Assim, é a termodinâmica dos processos irreversíveis em sistemas abertos longe do equilíbrio que leva à descoberta de que fluxos passando através do sistema o conduzem para mais longe do equilíbrio, podendo dar lugar a fenômenos de auto-organização espontânea, quebra de simetria e a uma tendência sempre crescente para a complexidade e a diversidade. A dissipação passa a ter um significado diferente, enfatizando o papel construtivo da natureza.

Prigogine tenta transpor as idéias sobre irreversibilidade nos processos de auto-organização espontânea a campos diferentes da físico-química, pois, em condições afastadas do equilíbrio, a matéria pode mostrar diferenças no mundo exterior e reagir com as pequenas flutuações, sugerindo a possibilidade de analogias com os sistemas sociais e com a história.

As idéias sobre ciência mudaram com relação à descrição da natureza e ao ideal destas descrições, desde o grande salto dado por Newton no século XVII. A situação teórica em que se encontram as ciências hoje evidencia uma transformação conceitual que Prigogine e Stengers denominam *metamorfose da ciência*. Esta última passa a mostrar uma abertura, situando o homem na natureza. As questões postas por esta metamorfose

extrapolam o âmbito científico e apresentam formulações mais antigas que as propostas pela ciência moderna, como, por exemplo, a idéia de que a ciência e o conteúdo de suas teorias estejam ligadas ao modo pelo qual o homem se relaciona com a natureza, isto é, a ciência faz parte do complexo cultural no qual os homens tentam encontrar uma forma de coerência intelectual. Tal coerência influencia as concepções de teorias que orientam as interrogações em cada época. Assim, esta metamorfose renova a concepção das relações do homem com a natureza e a ciência como prática cultural.

A própria história mostra outros aspectos que evidenciam mudanças científicas e técnicas, as quais contribuem para por fim às ilusões, certezas e recusas da ciência, para dar lugar a uma natureza complexa e ao devir. Deste modo, os conceitos básicos encontram seus limites nesta metamorfose, a partir da qual descrevem um universo fragmentado, rico em diversidade qualitativa e incluindo uma natureza complexa e múltipla. Nesta metamorfose, não são mais as situações estáveis e permanentes que interessam, mas as evoluções, as crises, as instabilidades e o que se transforma, permitindo vislumbrar uma nova forma de naturalismo.

Prigogine e Stengers fazem uma advertência quanto à suposta “sobrecarga” dos temas abordados na obra, afirmando que não há, até o momento, uma forma canônica de lidar com o problema da ciência, mas que é fundamental ressaltar que a atividade científica não está separada do mundo ao qual pertence e o seu papel na sociedade merece uma reflexão mais ampla, conferindo-lhe o aspecto de abertura característico¹.

A Nova Aliança mostra como é possível estabelecer uma ponte entre a concepção estática da natureza e a dinâmica, entre o universo gravitacional e o universo termodinâmico, apresentando uma revisão no conceito de tempo, não apenas como um

parâmetro do movimento, mas como medidor de evoluções internas de um mundo em desequilíbrio.

Uma das discussões clássicas sobre o tempo diz respeito à existência ou não de sua origem. Para Aristóteles, o tempo é eterno e, sendo assim, não se pode falar de seu início. Na tradição bíblica, o tempo é criado em um certo momento. Alguns pensadores, como Giordano Bruno e Einstein, acreditam que o tempo é eterno. Para a física clássica, esta discussão não faz sentido, pois o Universo é um autômato e não possui história, isto é, uma vez posto a caminho, ele prossegue em seu percurso até o infinito. Atualmente, esta questão é retomada sob nova perspectiva, a partir do conceito darwiniano de *evolução*. A este novo desafio, a física responde com a irreversibilidade², a probabilidade³ e a coerência⁴, as quais constituem as condições de existência das novas estruturas, encontradas nos processos afastados do equilíbrio. A descrição irreversível da natureza torna-se, então, um fato cosmológico porque define uma “flecha do tempo”, comum a todo o Universo. Ao se perguntar como apareceu o tempo no universo, Prigogine sugere que, em certo sentido, o tempo precede o universo. Em outras palavras, o universo é o resultado de uma instabilidade que sucedeu a uma situação que a precedeu, ou seja, o Universo resulta de uma mudança de fase em grande escala.

As reflexões estabelecidas na obra *A Nova Aliança* mantêm uma relação com o texto de Monod, *O Acaso e a Necessidade*, no qual este autor discute a separação, produzida pela ciência moderna, entre a verdade objetiva e os valores, gerando certa angústia, característica da cultura atual. A “antiga aliança” entre o homem e a natureza se

¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 21.

² A irreversibilidade é uma característica da produção interna de entropia. Ela envolve fenômenos que dão origem a novas estruturas. Os exemplos mais comuns são as reações químicas e os fenômenos biológicos.

³ A probabilidade e a irreversibilidade são noções estreitamente ligadas, depois de Boltzmann.

rompeu. Segundo Prigogine, os processos irreversíveis proporcionam uma imagem diferente daquela fornecida pela ciência moderna, colocando em jogo as noções de *estrutura, função e história*, em que a irreversibilidade se torna fonte de ordem e criadora de organização. Nesta perspectiva, o homem não deve considerar-se uma exceção marginal do universo, pois, com a retomada do tempo e dos processos irreversíveis, é possível a reconstrução de uma “nova aliança” entre o homem e a natureza.

Deste modo, a metamorfose conceitual, da ciência clássica⁵ à abertura atual, evidencia os problemas que marcam uma cultura e suas influências sobre o conteúdo e o desenvolvimento das teorias científicas⁶. O tempo reencontrado a partir desta metamorfose é o tempo de uma natureza cujas evoluções são múltiplas e divergentes, conduzindo à reflexão sobre a coexistência de tempos irredutíveis, diferentes e articulados⁷.

A idéia central consiste em contrapor o indeterminismo – que surge da termodinâmica não-linear – ao determinismo tal como estabelecido pelas leis da dinâmica clássica⁸ e estabelecer as semelhanças e diferenças, bem como suas respectivas consequências filosóficas e biológicas.

Algumas questões éticas, tais como a liberdade e o destino, são propostas na nova abordagem através da ordem por flutuações, em que um sistema tem a probabilidade de

⁴ O Universo do não-equilíbrio é um Universo coerente. As estruturas dissipativas são exemplos de estruturas de não-equilíbrio.

⁵ Prigogine chama de *ciência clássica* aquilo que em filosofia corresponde à ciência moderna. Em física, o período da ciência clássica corresponde à física newtoniana, enquanto a ciência moderna inicia-se com a relatividade. Em filosofia, a ciência clássica corresponde à antiguidade grega e a ciência moderna é aquela que se inicia com Descartes. Aqui, a ciência clássica corresponde à física newtoniana. Vale ressaltar que, em algumas circunstâncias, o uso do termo, na obra, pode se tornar confuso não deixando claro se *ciência moderna* se refere à física clássica ou à física moderna. Optei por seguir o raciocínio corrente, equivalendo a física clássica à ciência clássica e a física moderna à ciência moderna. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 14.

⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 9; 15; 19; 21; 24.

⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 29.

⁸ Entre os físicos, é um pressuposto quase unânime que a Mecânica Quântica tem um caráter mais geral que a Física Clássica. Todavia, a questão da irreversibilidade ainda se mantém, refletida nos problemas da medição e da transição da descrição clássica para a descrição quântica.

seguir vários caminhos, em sua maioria divergentes, abrindo espaço para a pesquisa com fenômenos complexos, que são o objeto de estudo das ciências humanas, da filosofia e da biologia.

Existem alguns autores que discutem as propostas de Prigogine e Stengers sob dois ângulos diferentes, evidenciando as controvérsias que a nova proposta suscita. Um deles, Jean Bricmont, fornece argumentos contra apropriações indevidas de conceitos em outras áreas do saber. O outro, Fritjof Capra, estabelece uma nova ordem para os fenômenos na natureza, utilizando as idéias de Prigogine e Stengers como fonte.

Não pretendo tomar partido das idéias fornecidas aqui. Meu objetivo é apenas apresentar as idéias de Prigogine e Stengers do ponto de vista da metamorfose da ciência e suas consequências filosóficas. Com este intuito, dividi este trabalho em quatro capítulos, cada um dos quais contendo três seções. No primeiro, exponho como Prigogine e Stengers descrevem a ciência moderna enquanto determinista e reducionista. Na primeira seção, é tratada a questão do desencantamento do mundo. Na segunda seção, são apresentados a síntese newtoniana entre física e matemática e os três atributos da dinâmica: leis gerais, determinismo e reversibilidade. Mostra-se como a linguagem da dinâmica, formal, coerente e abstrata, é formulada com simplicidade e economia. Na última seção, é mostrado como surgem no seio desta mesma produção científica diversas idéias diferenciadas, devidas a Diderot e Kant.

No segundo capítulo, apresento a descrição feita por Prigogine e Stengers do surgimento da ciência do complexo, com Boltzmann e a termodinâmica não-linear, fazendo um paralelo com a biologia molecular. Na primeira seção, é estabelecida a relação entre o surgimento da termodinâmica e a revolução industrial, bem como o princípio de

conservação da energia e sua relação com a irreversibilidade. Na segunda, é mostrado o surgimento dos conceitos de *equilíbrio* e *não-equilíbrio*, observando as relações entre a termodinâmica linear e a termodinâmica não-linear. Na última, mostro como Prigogine e Stengers abordam o problema da evolução da vida sob a ótica da termodinâmica dos processos irreversíveis, enfatizando a conexão entre estruturas dissipativas, processos bioquímicos e a noção de ordem e de flutuações. Algumas das idéias de Hegel, Bergson e Merleau-Ponty, que refletem uma crítica aos conceitos científicos, serão aqui analisadas.

No terceiro capítulo, examino como Prigogine e Stengers enfatizam a crise dos conceitos clássicos, contrapondo os mundos da dinâmica e da termodinâmica, e como surgem daí as interpretações sobre a irreversibilidade e a reversibilidade, a incerteza e o absoluto, a complexidade e a simplicidade, a causalidade determinista e a probabilidade e o problema do tempo: encantamento e desencantamento. Na primeira seção, é mostrado o choque entre duas doutrinas, a dinâmica e a termodinâmica. Na segunda, é considerada a associação da irreversibilidade ao aumento da ignorância. Exponho a argumentação de Prigogine e Stengers em torno da renovação da ciência contemporânea, com o surgimento da teoria da relatividade e da mecânica quântica, com a formulação do princípio da incerteza e do princípio da complementaridade. Na última seção, é apresentado o reencantamento do mundo com o reencontro do tempo. São expostas as idéias de Kuhn sobre os paradigmas da ciência e como eles se desenvolvem.

O quarto capítulo investiga o reencantamento do mundo a partir do fim da onisciência científica contemporânea e das propostas de aberturas daí advindas. Na primeira seção, é mostrado como a ciência renuncia ao ideal absoluto em função de crises conceituais instauradas em seu interior. Na segunda seção, é evidenciado o reencontro da multiplicidade de tempos e são apresentadas as diferentes consequências da metamorfose

da ciência. Na última seção, para ilustrar a controvérsia em torno das idéias de Prigogine e Stengers, apresento duas posições divergentes sobre elas, a de Jean Bricmont, que critica a utilização não apropriada dos conceitos científicos e a de Fritjof Capra, que se utiliza do conceito de *estruturas dissipativas* como suporte para sua abordagem sistêmica da vida.

A bibliografia utilizada não é muito extensa, mas isto se justifica pela novidade, complexidade e densidade das idéias exploradas no livro de Prigogine e Stengers.

1. A Ciência Clássica

Este capítulo tem por objetivo descrever, segundo a visão de Prigogine e Stengers, a história da ciência clássica, seus triunfos e suas consequências culturais, bem como mostrar a ilusão das certezas fornecidas por esta ciência e as idéias concebidas pelas ciências humanas que elas negam. Prigogine e Stengers pretendem mostrar que a descrição da atividade científica é parte integrante da cultura e do mundo ao qual ela pertence. Neste sentido, três aspectos são observados. O primeiro corresponde ao sentimento de aceitação e entusiasmo pelos resultados obtidos pela ciência clássica e pelas promessas de desenvolvimento que ela projeta. O segundo aspecto é caracterizado pela confusão, a inquietação e a hostilidade que se seguem a este entusiasmo. O terceiro aspecto diz respeito à polarização da cultura em torno das ciências humanas e da ciência clássica¹.

1.1. O Projeto da Ciência Moderna

As sociedades tentam explicar a ordem do mundo dos homens na natureza, através de certas técnicas ou através de mitos. A ciência é associada aos mitos e cosmologias enquanto estes tentam compreender a natureza, mas as duas formas se

diferenciam nos processos de verificação e crítica. Desde os pré-socráticos se distingue o verdadeiro do falso. Hoje, eles são revisitados e suas idéias são reformuladas, como por exemplo, as relações entre o ser – eterno e imutável – e o devir, possibilitando a compreensão da origem da existência a partir do que não se diferencia, ou seja, daquilo que permanece constante, imutável. Os pitagóricos elaboram a ciência dos números que correspondem às teorias acústicas. Os gregos elaboram uma matemática abstrata e rigorosa, cujas demonstrações fornecem a verdade ou erro das teses².

Para Platão e Aristóteles, existe uma distinção entre o pensamento teórico e a atividade teórica. Existe também uma distinção entre dois mundos: o dos astros – eterno e imutável – e o da natureza terrestre – formado pelas coisas mutáveis, mortais, sujeitas às paixões e à corrupção. Um contraste entre os dois mundos de Aristóteles surge quando se tenta descrever matematicamente os movimentos dos astros e os da natureza terrestre. Descrever o mundo da natureza terrestre através da matemática é impossível para Aristóteles. Além disso, o seu interesse está voltado para explicar o *porquê* e não descrever *como* se produz um processo. Estas duas questões não estão separadas, pois é inevitável responder *como* quando se pergunta pelo *porquê*. Uma das fontes do pensamento aristotélico consiste na observação do desenvolvimento embrionário. Através destas observações, Aristóteles explica o comportamento da natureza. Esta natureza está organizada segundo as causas finais, as quais fornecem a inteligibilidade do mundo. As mudanças se referem à natureza das coisas e sua função é realizar a essência inteligível do ser, que nos seres vivos corresponde às *causas final, formal e eficiente*³.

¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 21.

² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 44.

³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 46-7.

Uma convicção, necessária nos primórdios da ciência moderna, revela uma visão de mundo tão geral quanto a visão de mundo da biologia aristotélica. Ela sugere uma convicção metafísica, necessária para transformar o saber dos artesãos e dos construtores de máquinas em um novo modo de exploração. A implicação que este tipo de convicção traz, no que diz respeito à origem da ciência moderna, é de que ela está ligada a uma investigação em que cada progresso é vivido como desencantamento. Fatores sociais e econômicos, como o desenvolvimento das técnicas artesanais em mosteiros, desempenham um papel fundamental no surgimento da ciência experimental enquanto saber artesanal sistematizado. A análise de Needham sobre as estruturas sociais no final da Idade Média mostra como a classe dos artesãos e de produtores de inovações e técnicas não é desprezada como na Grécia. Estes intelectuais e artesãos são classes independentes do poder⁴.

Nesta etapa, os construtores de máquinas se utilizam de descrições e conceitos matemáticos em suas criações. Um exemplo típico é o relógio, constituído por relações entre velocidades e deslocamentos das diferentes peças e pela geometria de seus movimentos. Ao sucesso do relógio se deve a metáfora do *Deus-relojeiro*, ordenador racional de uma natureza autômata⁵ (mecanizada), que faz surgir a idéia de um *mundo-relógio*. É a partir desta metáfora que a ciência, no início, estabelece uma ressonância com o discurso teológico. Esta ressonância entre estes dois discursos determina o nascimento da ciência teórica⁶.

Uma das hipóteses sobre o surgimento da ciência moderna consiste no confronto entre Galileu e os aristotélicos. Neste quadro se encontram contrapostas duas

⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 51.

⁵ Autômata é o mesmo que máquina. ABBAGNANO, 1982. p. 93.

⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 53-4.

explicações do mundo. Cada parte neste confronto apresenta o que é importante e o que é considerado ilusão de acordo com seus critérios. Assim, do ponto de vista de Galileu, as questões escolhidas para explicação do mundo pelos aristotélicos devem ser excluídas da ciência. Do ponto de vista dos aristotélicos, Galileu é um fanático irracional, pois considera importante o discurso da experiência e dos artesãos⁷.

Para Galileu e seus sucessores, a ciência é capaz de descobrir a verdade geral da natureza. A natureza pode ser descrita matematicamente e a linguagem desta descrição é única, pois o mundo, por ser homogêneo, permite que uma experiência local leve a uma verdade geral. Assim, a ciência se encarrega da verdade descrita pelas leis matemáticas do movimento, reduzindo a diversidade e a complexidade a fenômenos simples ou a meras aparências⁸.

Outra hipótese para o surgimento da ciência moderna é a de que ela começa com o diálogo experimental, negando as concepções antigas e as questões postas a respeito da relação do homem com a natureza, negando outros universos culturais, incluindo aquele que os produz (o aristotelismo, a magia e a alquimia). Assim constituído, o diálogo parece se estabelecer contra a natureza, negando-lhe sua complexidade e o devir em nome de um mundo eterno, cognoscível, regido por leis simples e imutáveis⁹.

Na Inglaterra do século XVIII, a descoberta dessa linguagem qual a natureza fala e à qual obedece torna-se uma crença comum a todas as áreas do conhecimento (religião, artes, política, astronomia). Todos os artífices do saber (os poetas, os arquitetos, os escultores e os artistas) se utilizam da universalidade das leis formuladas por Newton para fundamentar sua argumentação. Assim, Newton se torna o símbolo da

⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 47-8.

⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 51-2.

⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 88.

revolução científica na Europa. Porém, o grande triunfo de suas leis está no céu. A nova formulação matemática da natureza permite descobrir desvios aparentes nas órbitas dos planetas ou encontrar um novo astro a partir desses desvios. Com a descoberta de Netuno, as leis de Newton se consagram e a escola de Laplace difunde e sistematiza suas idéias. Entretanto, interpretações divergentes surgem no método, no início do século XIX, na mesma época em que o nome de Newton agrega “... *tudo o que ... tem de valor de modelo para as ciências*¹⁰”. Alguns acreditam que a *estratégia newtoniana* consiste em isolar um fato central, irreduzível e específico, de um conjunto de fenômenos, para daí fazer deduções. Assim, cada disciplina adota, como ponto de partida, um princípio semelhante ao da *força de atração*. Na química, a afinidade, *força de interação* específica irreduzível às leis do movimento das massas, desempenha este papel. No discurso da medicina, surge a idéia de *força vital*. Os mais diversos projetos, - os que tratam de sistemas de leis, de equilíbrio, os mitos da harmonia, ou seja, de ordem natural, moral, social e política se tornam newtonianos, isto é, passam a ter o caráter de universalidade. Porém, o que é universal, aos olhos dos newtonianos, é a lei da gravitação¹¹.

O entusiasmo e a convicção que os contemporâneos de Newton depositam na descoberta do segredo do mundo, na revelação da verdade da natureza consiste na síntese entre manipulação e transformação. Surge, assim, uma ciência prática que possui como fonte o saber dos artesãos e dos construtores de máquinas da Idade Média. São eles que fornecem os meios de prever, modificar, utilizar e explorar a natureza¹².

¹⁰ *...tout ce qui ... a valeur de modèle pour les sciences*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 35.

¹¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 33-4.

¹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 43.

O sucesso da dinâmica clássica é considerado, por muitos, como um fato. Outros reconhecem nela o nascimento da ciência moderna, o advento de uma nova cultura sem comparação com aquela que a precede. Qualquer que seja a interpretação, seu objetivo é obter este mesmo sucesso que a ciência tem em colocar questões sobre a natureza. A ciência moderna paralisa tanto seus adversários, que vêem nela um empreendimento ameaçador e inaceitável, quanto seus partidários, que se empenham numa investigação heróica. Esse é o dilema das ilusões, das certezas e das recusas da ciência clássica¹³.

A singularidade da ciência moderna consiste no encontro entre a técnica e a teoria, na aliança entre a ambição de modelar o mundo e compreendê-lo. A ciência clássica é descrita como uma tentativa de comunicação com a natureza, de estabelecer com ela um diálogo. O diálogo é um empreendimento inédito ao mesmo tempo que inicia um novo comportamento¹⁴.

Para Koyré, o diálogo experimental é aquilo que constitui a prática da chamada ciência moderna. Este diálogo conduz a duas dimensões características das relações homem-natureza: compreender e modificar. Mas a experiência exige uma interação entre a teoria e a prática. É assim que um processo natural se estabelece como possível hipótese teórica. Como hipótese, o processo é preparado e purificado antes de ser interrogado na linguagem dessa teoria. Assim, obtém-se um procedimento sistemático que provoca a natureza e a obriga a dizer se ela obedece ou não a uma teoria¹⁵.

O diálogo experimental é caracterizado pela capacidade de conduzir uma observação e uma prática que consiste na manipulação da realidade física até que esta apresente uma proximidade em relação à descrição teórica. Esta prática consiste em

¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 13-4.

¹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 48.

¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 11.

preparar o fenômeno, em isolá-lo até surgir uma situação ideal, fisicamente impossível, mas inteligível, pois representa o modelo teórico que guia o experimento. Assim, a experiência está submetida a uma interrogação fundamentada na hipótese e, além disso, ela está sujeita a um conjunto de pressupostos que dizem respeito a um certo comportamento absurdo se atribuído à natureza. A experiência interroga a natureza a partir de certas leis. A resposta é registrada e sua confirmação é verificada em relação à hipótese que conduz o experimento. O procedimento experimental consiste, assim, numa habilidade em eleger, discernir e examinar todas as possibilidades de respostas da natureza numa situação determinada. Este processo consiste, ainda, em apresentar o fenômeno, encontrar uma forma de comunicá-lo ou reproduzi-lo e decidir se ele pode ou não ser decifrado¹⁶. Mesmo que se mude um conteúdo teórico, o processo experimental permanece. Ele consiste na confirmação da hipótese de qualquer conteúdo teórico. Porém, os experimentos não precisam ser realizáveis. Muitos experimentos consistem em experiências de pensamento, ou seja, criações imaginárias controladas por princípios teóricos. Alguns exemplos podem ser constatados na teoria da relatividade ou na mecânica quântica¹⁷.

O procedimento experimental, definido por este conjunto de diálogos com a natureza, constitui a originalidade e os limites da ciência. Mas esta natureza não é rica em diversidade e complexidade. Ela é preparada, recortada em função de uma hipótese. A natureza pode responder com um *não* ou um *talvez*. Deste modo, o cientista não obriga a natureza a dizer o que ele quer ouvir, ele assume riscos que dependem da estratégia usada para cercar a natureza¹⁸.

¹⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 49.

¹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 49-50.

¹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 50.

É a ciência do século XVIII que descobre as leis do movimento dos corpos celestes e terrestres. A partir deste sucesso, d'Alembert e Euler formulam seus princípios num sistema completo e coerente e Lagrange reformula a história como uma realização lógica em direção à perfeição. Esta é a ciência à qual prestam honras as academias fundadas pelos soberanos absolutos: Luis XIV, depois Frederico II e Catarina da Rússia. É esta ciência que faz de Newton um herói nacional, é esta ciência que tem sucesso, que acredita ter demonstrado que a natureza é transparente e, como tal, pode ser exposta¹⁹.

Ao ser questionado por Napoleão, Laplace responde que não necessita da hipótese da localização de Deus em seu Sistema do Mundo. Para a ciência de Laplace, uma descrição é tanto mais objetiva quanto melhor puder eliminar o observador. A ciência clássica visa sempre descobrir a verdade única do mundo, a única linguagem que decifra a totalidade da natureza, a única a partir da qual tudo o que existe pode ser deduzido. Como consequência, a ciência clássica postula sempre a monotonia do mundo que ela interroga²⁰.

Em certo momento, as relações entre ciência e cultura evidenciam uma ciência como um ... *corpo estranho no interior da cultura, um corpo cujo crescimento canceroso ameaça destruir o conjunto da vida cultural*²¹. Esta mesma ciência, após anos de inspiração, é transformada em desencantamento, em ameaça de destruição dos saberes, das tradições e da memória cultural. O culpado por este quadro é o chamado *espírito científico* e não o resultado técnico constituído por este saber. É este espírito que desencanta o mundo, pois tudo o que nele é descrito se encontra reduzido a um caso

¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 60.

²⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 60.

de aplicação de leis gerais. Além do reducionismo, a dominação constitui outro fator de desencantamento provocado pela ciência, pois torna o mundo manejável e o homem, estranho no mundo, surge como senhor dele²².

Claude Lèvi-Strauss²³ associa a revolução neolítica à revolução industrial. Para ele, o homem da era neolítica aprende a organizar e explorar o meio social e natural, possui conhecimentos e habilidades para sobreviver. A utilização da escrita, da geometria e da aritmética já é observada desde a antiguidade²⁴.

Para Heidegger²⁵, o projeto científico é a vontade de poder que se esconde por trás da racionalidade. Tanto o técnico quanto o homem de ciência são ... *a sede de uma vontade de poder disfarçada em desejo de saber*²⁶. O uso que se faz da técnica e da ciência revela a violência do saber positivo. Cada uma delas, técnica e ciência, constituem um momento da história do Ocidente. A teoria, vista deste modo, se torna um ajuste das coisas e as reduz a objetos dominados. A física moderna é experimental porque, como pura teoria, intima a natureza a se mostrar como um complexo de forças a fim de saber *se e como* a natureza responde. A partir daí, a ciência se torna a senhora dos destinos da humanidade e conduz o mundo para o futuro desconhecido e inimaginável²⁷.

²¹ ... *corps étranger à l'intérieur de la culture, un corps dont la croissance cancéreuse menace de détruire l'ensemble de la vie culturelle...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 37.

²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 37-8.

²³ LÉVI-STRAUSS, Claude. "Race et Histoire" In: *Anthropologie Structurale 2* – France: Librairie Plon, 1973. pp. 377-422 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 44.

²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 44.

²⁵ HEIDEGGER, Martin. "La question de la technique" In: *Essais et conférences* – Paris: Gallimard, 1958. p. 21-2; 29 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 38.

²⁶ ... *le siège d'une volonté de puissance déguisée en appétit de connaissance...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 39.

²⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 38-9.

As sociedades se tornam cada vez mais dependentes do uso que se faz da ciência e da técnica. É por isso que a fuga para o mito de uma ciência misteriosa e todopoderosa só contribui para mascarar os problemas postos pela história²⁸.

Koyré²⁹ critica o alcance da síntese newtoniana. Para ele não estamos limitados à alternativa entre uma ciência que faz do homem um estranho num mundo desencantado e um protesto anticientífico, ou anti-racional. Voltando um pouco atrás, é possível compreender melhor até que ponto a ciência clássica é capaz de compreender o devir, de modo tal que as extrapolações que ela tenta a partir de suas teorias devem conduzir à negação da possibilidade de evoluções criadoras de novidade e complexidade³⁰.

Para Popper³¹, a ciência racional existe devido ao seu sucesso. O procedimento científico pode ser praticado porque descobre pontos de coerência entre as hipóteses teóricas e as respostas experimentais. O sucesso da ciência moderna é um fato histórico. Atingido este ponto, ocorre uma transformação sem retorno nas relações do homem com a natureza, produzindo a chamada revolução científica³².

Snow³³ denomina esse processo de ruptura cultural de *terceira cultura*, quer dizer, um meio de iniciar um diálogo entre o procedimento matemático e a experiência conceitual e a prática dos economistas, biólogos, sociólogos, demógrafos e médicos, que tentam descrever a complexidade dos seres vivos e da sociedade humana³⁴.

Explorando a ciência newtoniana, seu eixo conceitual, surge o problema do tempo, ponto sobre o qual se evidencia a dimensão negadora da possibilidade de

²⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 40-1.

²⁹ KOYRÉ, A. Etudes Newtoniennes – Paris: 1968. p. 42-3 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 41.

³⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 41.

³¹ POPPER, Karl. Objective Knowledge – Oxford: Clarendon Press. 1922 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 12.

³² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 12.

³³ SNOW, C. P. Les deux cultures – Paris: Pauvert. 1968 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 42.

evoluções criadoras de novidade e complexidade. O tempo, associado ao devir biológico ou à evolução das sociedades, não é o mesmo que descreve o movimento dos planetas, ou do pêndulo ideal. Uma das perspectivas abertas por essa metamorfose é o fim da ruptura cultural, que faz da ciência um corpo estranho e lhe dá uma aparência de fatalidade que deve ser assumida ou de uma ameaça que deve ser combatida³⁵.

1.2. A Identificação do Real

Desde Galileu, a aceleração dos corpos é um dos problemas centrais da física. Galileu descobre que não é necessário saber a causa do movimento quando o corpo está em movimento retilíneo uniforme ou em repouso. Estes são dois estados que se mantêm se não forem perturbados. Porém, surge o problema de identificar a causa da mudança da *velocidade*, isto é, quando o corpo sai do repouso para o movimento ou vice versa³⁶.

Ao formular as leis do movimento, Newton une a física, que descreve o movimento usando as leis de Kepler e a lei de queda dos corpos de Galileu com a matemática, que caminha em direção ao cálculo *infinitesimal*³⁷. O conceito de *quantidade infinitesimal* é introduzido pelos matemáticos para responder a questões sobre a variação contínua da *velocidade* e para descrever a evolução, no tempo, de grandezas tais como *posição*, *velocidade* e *aceleração*, que caracterizam o estado de movimento de um corpo num determinado instante. Assim, a *quantidade infinitesimal* é

³⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 42-3.

³⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 42.

³⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 65.

³⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 65.

definida como sendo a variação de uma grandeza entre dois momentos sucessivos, quando o intervalo de tempo entre estes dois momentos tende a zero³⁸.

Estudar a *aceleração* é o mesmo que determinar a resultante das *forças* que atuam em cada ponto do sistema. Isto corresponde à chamada segunda lei de Newton. A igualdade entre a *força* e a *aceleração* fornece a versão matemática da estrutura causal. Esta característica é uma propriedade do mundo da dinâmica. Em outras palavras, a causa da variação da *velocidade* de um corpo é a *força* resultante que é aplicada a este corpo³⁹.

Para um sistema de vários pontos materiais, os valores das *forças* aplicadas variam em função da *aceleração* imprimida por estas *forças* no instante precedente. Assim, *forças* são função da configuração espacial do sistema de corpos em que elas atuam e variam quando variam as *distâncias* entre estes corpos⁴⁰.

Um problema dinâmico monta-se a partir de um conjunto de equações diferenciais. O estado instantâneo de cada ponto do sistema é descrito pela *velocidade* e *aceleração*, ou seja, pelas derivadas primeiras e segundas⁴¹.

Enquanto o conjunto das equações diferenciais põe o problema dinâmico, a operação de integração consiste na solução deste problema, que termina no cálculo do conjunto das trajetórias dos pontos do sistema. As trajetórias espaço-temporais constituem a descrição completa do sistema dinâmico⁴².

A descrição dinâmica implica em dois tipos de dados empíricos:

³⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 65-66.

³⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 66-7.

⁴⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 67.

⁴¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 67.

⁴² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 67.

- a) condições iniciais: descrição das *posições* e das *velocidades* iniciais de cada ponto material, uma vez que a integração das equações dinâmicas fornece a sucessão de estados do sistema, ou seja, o conjunto das trajetórias pontuais;
- b) natureza das forças dinâmicas, ou seja, a maneira como as *acelerações* instantâneas que as forças provocam podem ser deduzidas do estado do sistema em cada instante⁴³.

O triunfo da física consiste na descoberta da *força* da gravidade, que determina o movimento dos planetas, dos cometas e dos corpos que caem na Terra. Qualquer que seja o par de corpos materiais e a distância entre suas massas, existe uma *força* atrativa proporcional às massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa⁴⁴.

A dinâmica newtoniana também possui uma dupla universalidade:

- 1) a lei da gravidade se estende a fenômenos em escalas atômicas e astronômicas; aplica-se tanto ao movimento dos átomos quanto ao movimento dos planetas e estrelas;
- 2) um sistema dinâmico é definido pelo fato de que o movimento de cada um de seus pontos é *determinado* a cada instante pela *posição* e *velocidade* do conjunto de pontos que constituem o sistema (daí se conclui que o único sistema dinâmico é o Universo inteiro)⁴⁵.

Outras *forças*, diferentes da gravitacional, são descobertas, como por exemplo a força de atração ou repulsão elétrica. Neste caso, o conteúdo empírico é modificado,

⁴³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 67.

⁴⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 67-8.

⁴⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 68.

mas a forma da lei permanece idêntica. Isto está ligado aos três atributos da trajetória dinâmica⁴⁶:

- 1) *legalidade*: a lei dinâmica que rege a trajetória supõe que já está *determinada* a natureza das *forças* e como elas variam em função da *distância* entre esses pontos. Com efeito, esta lei deduz o conjunto das *acelerações* instantâneas que estas *forças* produzem entre os pontos do sistema. Esta dedução define todas as evoluções possíveis. Para calcular uma trajetória é preciso juntar à lei de movimento o conhecimento empírico de um estado momentâneo qualquer do sistema⁴⁷.

*... A lei geral deduz ... deste "estado inicial" a sucessão dos estados que atravessa o sistema, do mesmo modo que um raciocínio lógico deduz a conclusão a partir das premissas*⁴⁸.

- 2) *determinismo*: a lei que descreve o movimento e um estado qualquer é suficiente para definir inteiramente o sistema, tanto em sua evolução futura quanto em seus estados passados⁴⁹.

*... a lei determina completamente o sistema, permite deduzir sua evolução, calcular seu estado para não importa qual instante anterior ou posterior.*⁵⁰

- 3) *reversibilidade*: o fato de a trajetória dinâmica poder ser feita nos dois sentidos. O exemplo que melhor ilustra a relação de equivalência entre causa e efeito, para fundamentar a descrição matemática do movimento, é a situação imaginária de uma bola perfeitamente elástica saltando no solo. Uma inversão instantânea da *velocidade* da bola restaura o movimento entre o instante inicial e o instante da inversão, fazendo-a voltar a atingir a altura inicial⁵¹.

A reversibilidade [é] ... a reação de equivalência entre causa e efeito ... operação imaginária, que ilustra ... uma bola perfeitamente elástica ...

⁴⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 68.

⁴⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 68-9.

⁴⁸ ... *La loi générale déduit ... de cet "état initial" la succession des états que traverse le système, tout comme un raisonnement logique déduit la conclusion à partir des prémisses.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 69.

⁴⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 69.

⁵⁰ ... *la loi détermine complètement le système, permet de déduire son évolution, de calculer son état pour n'importe quel instant antérieur ou ultérieur.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 69.

⁵¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 69.

*A dinâmica faz da reversibilidade a propriedade de toda a evolução dinâmica.*⁵²

Para compreender esta nova face do devir natural, compara-se o devir dinâmico com a concepção atomista da mudança. Uma revisão do atomismo esclarece melhor o caráter da aleatoriedade do movimento dos átomos. Para os filósofos da antiguidade, cada processo natural – movimento e colisão dos átomos no vácuo – pode ter várias explicações, todas elas plausíveis e todas diferentes. O objetivo desse tipo de explicação é mostrar a inutilidade da explicação sobrenatural, ... *de descrever um mundo sem deuses, nem normas, um mundo onde o homem é livre e não tem de esperar castigo ou recompensa de qualquer ordem, divina ou natural*⁵³. Descartes, Gassendi e d’Alembert consideram as colisões entre os átomos como a única fonte da mudança de movimento⁵⁴.

A síntese newtoniana entre a ciência das máquinas ideais que comunicam o movimento através das peças em contato sem perdas e sem atritos, e a ciência dos astros que se influenciam à distância volta-se contra o atomismo, a ciência do acaso e das colisões⁵⁵. A história positivista apresenta as interações à distância como responsáveis por todos os processos materiais. Ela diz que é Newton quem tem a coragem de obter, por indução, a partir dos estudos matemáticos do movimento dos planetas e das leis da queda dos corpos, a noção de ação de uma *força*⁵⁶.

No século XVIII, a maior parte dos físicos são céticos em relação ao alcance efetivo da descrição dinâmica. O ceticismo vem do fato de que a descrição infinitesimal

⁵² *La réversibilité [est] ... la relation d'équivalence entre cause et effet ... opération imaginaire, qu'illustre ... une balle parfaitement élastique... La dynamique fait de la réversibilité la propriété de tout évolution dynamique.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 69.

⁵³ ... *de décrire un monde sans dieu ni normes, un monde où l'homme est libre et n'a à attendre de châtement ou de récompense d'aucun ordre, divin ou naturel.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 71.

⁵⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 71.

⁵⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 73.

não aborda os processos de colisão. A única coisa que a dinâmica oferece é um modelo ideal, parcial, expresso com coerência. Contudo, isto não é suficiente para satisfazer nem os atomistas e nem os engenheiros⁵⁷.

É necessário descrever o conjunto das variáveis que definem o sistema com o máximo de simplicidade e economia. Tal necessidade leva à formulação dos princípios de conservação, em especial o princípio da conservação da energia. Este último evidencia a síntese da linguagem dinâmica com as máquinas simples⁵⁸.

No mundo da dinâmica não há choques nem atrito, o que faz com que o rendimento das máquinas, segundo este modelo, seja igual a 1. Neste caso, a máquina transmite integralmente o movimento que recebe. Uma máquina, como a mola tensa, o peso levantado, o ar comprimido, possui uma quantidade de energia potencial. A partir daí, a máquina produz um movimento que transforma a energia potencial numa quantidade equivalente de energia cinética⁵⁹.

A energia potencial – que depende das posições relativas dos pontos materiais – é uma grandeza que permite aos físicos medir o movimento que uma máquina pode produzir, fornecido pela sua configuração. A energia potencial permite descrever o conjunto das forças aplicadas em cada instante aos diferentes pontos do sistema. Desde então, as leis de movimento de Newton são formuladas como uma função central, através da função potencial, isto é, o momento, que consiste no produto da massa pela *velocidade*⁶⁰.

⁵⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 72-3.

⁵⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 72.

⁵⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 79.

⁵⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 79.

⁶⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 80.

No século XIX, a descrição dinâmica é generalizada e toma a forma da função hamiltoniana, que corresponde à soma das energias potencial e cinética do sistema expressa em termos de variáveis canônicas. As equações canônicas permitem formular todos os problemas dinâmicos da mesma maneira. A *posição* canônica da dinâmica é abstrata porque não trabalha, inicialmente, com *posições* e *velocidades*, derivadas dessas *posições*. As variáveis canônicas, *velocidade* e *posição*, são grandezas independentes⁶¹.

O hamiltoniano é a grandeza de que se deduz a descrição e a evolução do sistema. Equacionar um problema dinâmico a partir da função hamiltoniana significa escolher a melhor representação canônica do sistema, ou seja, escolher o momento e a *velocidade* de modo que a estrutura do hamiltoniano seja adequada à solução do problema, adequada à integração do sistema. Como existe um número infinito de representações, as variáveis canônicas podem tornar-se funções complexas das *posições* e das *velocidades*. Como todas as representações são equivalentes, cada uma delas contém a verdade completa desse sistema. Quando o hamiltoniano é expresso pelas variáveis escolhidas, a derivada em cada ponto pode ser calculada em função da variável da *posição*. O hamiltoniano é a lei do movimento e, para qualquer representação, ele permite a dedução das variáveis canônicas no tempo⁶².

As equações canônicas são fundamentais na mecânica estatística – quando aplicadas a um sistema formado por um número grande de partículas que interagem – e na mecânica quântica – quando aplicadas às moléculas e aos átomos⁶³.

⁶¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 80.

⁶² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 80-1.

⁶³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 82.

A definição do hamiltoniano fornece o conteúdo físico de cada problema e a estrutura das equações canônicas fornece as propriedades *a priori* de toda a evolução dinâmica. As equações canônicas são *reversíveis* e a inversão do tempo é, matematicamente, equivalente à inversão das *velocidades*. As equações são conservativas, pois, quaisquer que sejam as variáveis canônicas selecionadas, o hamiltoniano é conservado pela evolução no decurso do tempo que determina. Assim, a energia do sistema gera uma evolução que a mantém invariante⁶⁴.

A escolha das variáveis é feita de modo a tornar a descrição o mais simples possível, a escolha das variáveis de *posição* e de *velocidade* é uma escolha trivial⁶⁵. Em problemas mais complexos deve-se escolher as variáveis com maior sutileza para que conduzam ao sistema de equações diferenciais mais facilmente integrável. O que importa é que a estrutura do hamiltoniano forneça as variáveis *velocidade* e *posição* quando forem derivadas. É possível criar uma estrutura tal que torne fácil a integração. Basta encontrar variáveis que reduzam o hamiltoniano ao termo da energia cinética, que depende só dos momentos, ou seja, basta que o termo energia potencial, que só depende de coordenadas de *posição*, se anule. Deste modo, a integração da equação da evolução se torna evidente e o sistema se torna do tipo pseudo-inercial, ou seja, aquele em que o movimento de cada ponto evolui independentemente dos outros. Isto define o conceito de *integrabilidade*⁶⁶:

*Todo sistema descrito em termos de equações diferenciais integráveis pode ser representado como um conjunto de unidades em que cada uma evolui isoladamente, independente de todas as outras, nesse movimento eterno e sempre igual a si mesmo que Aristóteles havia atribuído só aos corpos divinos.*⁶⁷

⁶⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 82.

⁶⁵ O termo trivial surge na matemática e consiste em fazer uma escolha de resultados mais simples para os problemas.

⁶⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 83.

⁶⁷ ... *Tout système décrit en termes d'équations différentielles intégrables peut être représenté comme un ensemble d'unités dont chacune évolue isolément, indépendamment de toutes les autres, dans ce*

A definição de integrabilidade faz aparecer a energia e o conjunto de invariantes do sistema dinâmico, isto é, faz aparecer as grandezas que se mantêm constantes por toda evolução e bastam para determiná-la. A definição torna estática e *determinista* toda a descrição por trajetórias dinâmicas, pois o sistema dinâmico integrável é reduzido à repetição do estado inicial⁶⁸.

No início do século XIX, o programa newtoniano – *a redução do conjunto dos fenômenos físico-químicos à ação das forças*⁶⁹ – torna-se oficial com o grupo da Escola de Laplace. Alguns associam a atração gravitacional ao calor que dilata os corpos e às forças elétricas e magnéticas. É neste momento que são criadas as grandes escolas francesas e os cientistas se tornam professores e investigadores, responsáveis pela formação de seus sucessores⁷⁰.

O *demônio de Laplace*⁷¹ constitui o símbolo da descrição dinâmica. Este demônio é capaz de, num certo instante, observar a *posição* e a *velocidade* de cada partícula do Universo. De posse dos *dados observados*, ele deduz a evolução de cada partícula na direção tanto do passado quanto do futuro. Laplace recorre a esta ficção para reforçar a necessidade de uma descrição estatística de certos processos. O demônio permite a descrição de um sistema dinâmico submetido a uma lei *determinista*. Porém, a

mouvement éternel et toujours égal à lui-même qu'Aristote avait attribué aux seuls corps divins. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 84.

⁶⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 84.

⁶⁹... *la réduction de l'ensemble des phénomènes physico-chimiques à l'action des forces ...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 76.

⁷⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 76-7.

⁷¹ O demônio de Laplace é ... *uma inteligência que, em dado momento, pudesse conhecer todas as forças que animam a natureza e a respectiva situação dos seres que a compõem – uma inteligência suficientemente ampla para submeter estes dados à análise – incluiria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e os dos átomos mais leves; nada seria incerto para tal inteligência, e o futuro, como o passado, estaria presente diante dos seus olhos.* Este termo é introduzido no ensaio de Laplace sobre a teoria das probabilidades. LAPLACE, P. S. *Essai philosophique sur les probabilités* – Paris: Christian Bourgois. 1986 *apud* SOKAL e BRICMONT, 1999. p. 141.

idéia de que a definição momentânea do sistema é suficiente para determinar sua evolução, a idéia a respeito da nossa capacidade de observação e cálculo, vai contra o demônio e contra a dinâmica. A descrição *determinista* pode ser inacessível e mesmo assim se apresenta como limite das descrições⁷².

*A questão do demônio de Laplace não é a da possibilidade efetiva de uma previsão determinista (grifo meu) do curso das coisas, mas a questão da sua possibilidade de princípio, e esta possibilidade de princípio de uma presciência total está implícita na dualidade da lei dinâmica e da descrição das condições iniciais.*⁷³

A partir da dualidade lei-condições iniciais, as idéias de que o conceito de estado inicial de um sistema é sempre válido para qualquer lei dinâmica desse sistema e de que a determinação das condições iniciais é uma operação teórica válida para todo sistema dinâmico são abandonadas. O demônio de Laplace abre uma brecha para colocar à prova o edifício da dinâmica⁷⁴.

*A ciência clássica ... desde o momento em que aceitava a verdade da descrição dinâmica, devia concluir pelo determinismo (grifo meu) universal, pelo caráter ilusório dos processos que constituem o mundo que habitamos, e que nos fizeram seres vivos e falantes.*⁷⁵

A linguagem da física define um mundo natural do qual o homem é excluído. O diálogo experimental só pode questionar os objetos que a física pode matematizar e explorar, tais como o movimento dos astros e o funcionamento das máquinas simples. A complexidade e a história são duas dimensões ausentes no mundo do demônio de

⁷² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 87.

⁷³ ... *La question du démon de Laplace n'est pas celle de la possibilité effective d'une prévision déterministe du cours des choses, c'est la question de sa possibilité de principe, et cette possibilité de principe d'une prescience totale est impliquée par la dualité de la loi dynamique et de la description des conditions initiales.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 87.

⁷⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 87.

⁷⁵ ... *La science classique ... du moment qu'elle acceptait la vérité de la description dynamique, devait conclure au déterminisme universel, au caractère illusoire des processus qui constituent le monde que nous habitons et qui nous ont produits, êtres vivants et parlants.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 87-8.

Laplace. A natureza da dinâmica clássica é amnésica e *determinada* pelo passado, é plana e homogênea, totalmente expressa por qualquer estado do mundo⁷⁶.

No fim do século XIX, o demônio de Laplace é considerado a encarnação da lógica da ciência pelo físico alemão Du Bois-Reymond. O mundo de Laplace é simples, sem obscuridade, independente da experiência, da escolha e da seleção das propriedades. O homem não é concebido neste mundo. Ele desaparece, é absorvido até se tornar um ponto. Contudo, o programa de Laplace não sobrevive à descoberta de certos fenômenos que ele não é capaz de assimilar. Morre um certo mecanicismo⁷⁷ ingênuo. Mas não morre totalmente, constituindo um espectro que sempre renasce⁷⁸.

A ciência clássica atinge hoje os seus próprios limites. Um dos aspectos dessa transformação teórica é o da descoberta

*... dos limites de conceitos clássicos que implicavam, para os que acreditavam na sua validade universal, a possibilidade de um conhecimento completo do mundo. Pois se os seres oniscientes, demônio de Laplace, de Maxwell, Deus de Einstein, abundam ainda hoje nos textos científicos, não há nisso arcaísmos, simples ingenuidade ou filosofia espontânea de sábio.*⁷⁹

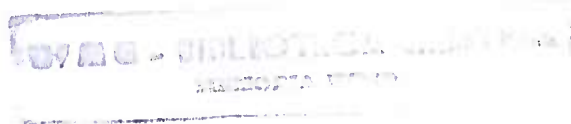
Um dos casos mais simples em que a relação causa e efeito pode ser observada é o das máquinas simples – roldanas, alavancas, guinchos, plano inclinado, etc. – pois somente uma força é levada em consideração: a da gravidade. A relação de equivalência entre causa e efeito é facilmente estabelecida. A altura que o corpo percorre durante a descida determina a *velocidade*. O percurso do corpo de massa pode ser qualquer um –

⁷⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 89.

⁷⁷ Em física, o mecanicismo consiste na tese de que todos os fenômenos da natureza devem ser explicados pelas simples leis da mecânica. Outra característica geral do mecanicismo é o determinismo. ABBAGNANO, 1982. p. 626.

⁷⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 90.

⁷⁹ *... des limites de concepts classiques qui impliquaient, pour ceux qui croyaient à leur validité universelle, la possibilité d'une connaissance complète du monde. Car si les êtres omniscients, démon de Laplace, de Maxwell, dieu d'Einstein, abondent aujourd'hui encore dans les textes scientifiques, ce n'est pas là archaïsme, simple naïveté ou 'philosophie spontanée de savant' ...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 63.



queda vertical, plano inclinado ou percurso em montanha russa –, pois a *velocidade* que o corpo adquire só depende do caminho percorrido. É neste percurso que o corpo adquire a energia cinética que lhe possibilita subir de novo⁸⁰.

Para um sistema de corpos em interação, a equivalência reversível entre causa e efeito é mais difícil de ser percebida, pois as distâncias entre as massas variam. Deduz-se então que as acelerações e também as forças em cada ponto do sistema variam. Tanto a aceleração quanto a variação da energia potencial são funções do estado global do sistema⁸¹.

*E é então no nível global que a equivalência reversível (grifo meu) entre causa e efeito pode ser estabelecida. A cada instante, a variação global da energia cinética, balanço das acelerações sofridas em cada ponto do sistema, compensa exatamente a variação da energia potencial determinada pelo conjunto das variações das distâncias entre os pontos do sistema. Daí o princípio dinâmico fundamental: a evolução dinâmica de um sistema isolado conserva a energia deste sistema.*⁸²

1.3. As Duas Culturas

O pensamento ocidental é dominado, inicialmente, pelo modelo de Aristóteles e depois pelo de Galileu. A escolha do modelo galileano se torna clara devido ao fato de este modelo melhor compreender os processos naturais relacionados ao movimento dos astros. Assim, o desenvolvimento da ciência moderna é marcado pelo abandono da inspiração vitalista e, em particular, das causas finais aristotélicas. Mas Diderot, na

⁸⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 79.

⁸¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 79-80.

⁸² *Et c'est donc au niveau global que l'équivalence réversible entre cause et effet peut être établie. En chaque instant, la variation globale d'énergie cinétique, bilan des accélérations subies em chaque point du système, compense exactement la variations del'énergie potentielle déterminée par l'ensemble des variations des distances entre les points du système. D'où ce principe dynamique fondamental: l'évolution dynamique d'un système isolé conserve l'énergie de ce système.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 80.

época do triunfo newtoniano, afirma que a questão da organização dos seres vivos é repelida pela física. Ele se volta contra o *mecanicismo* e chama a atenção para o desenvolvimento, a diferenciação e a organização de um espaço biológico, a partir de um meio homogêneo, de uma massa e de formas diferenciadas, no momento e lugar oportunos, apresentando um processo coordenado e harmonioso. Para Diderot, essa nova ciência da natureza organizada existe na química e na medicina. Nelas, a matéria ativa, capaz de organizar e de produzir seres vivos, se opõe à massa inerte e às leis universais da mecânica⁸³.

O protesto vitalista de Diderot contra a física e as leis universais do movimento origina-se em sua recusa do *dualismo espiritualista*. Para ele, a natureza da matéria deve ser descrita de modo que possa explicar a existência do homem⁸⁴.

No início do século XVIII, a química e a medicina se inspiram no *naturalismo materialista*, pois são elas que se deparam diretamente com a complexidade dos problemas reais, a diversidade e a singularidade dos comportamentos da matéria e da vida. No fim do século XVIII, a química e a medicina, ciências privilegiadas do ponto de vista metodológico, lutam, contra o espírito de sistema dos físicos, pelo respeito enquanto ciências dos processos naturais⁸⁵.

Stahl, pai do vitalismo, criador do primeiro sistema químico coerente, afirma que se a matéria, da qual o ser vivo é constituído, é regida apenas por leis universais, ela não resistiria à corrupção e à dissolução. O ser vivo subsiste porque há nele um princípio de conservação que subsiste e mantém o equilíbrio da textura e da estrutura de

⁸³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 91-2.

⁸⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 94.

⁸⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 94.

seu corpo, qualquer que seja a duração de sua vida comparada à de um corpo inanimado⁸⁶.

A análise do problema da vida parece, por um lado, próxima, devido à precariedade e à singularidade em relação às leis gerais da dissolução e da dispersão. Por outro lado, parece afastada, pois tanto Aristóteles quanto Stahl definem o ser vivo em termos estáticos, em termos de conservação e não de transformação. Certos biólogos atribuem à informação genética esta idéia de permanência⁸⁷.

Para Stahl, o ser vivo se constitui como um ser intrinsecamente mecânico, mas que possui em si a razão e a finalidade da sua organização, contrariamente ao autômato, que tem seu fim fora dele e sua organização imposta pelo construtor⁸⁸.

O pensamento romântico é outro movimento que surge propondo uma transformação do discurso do ser vivo, como protesto contra o mecanicismo e como uma crítica ao autômato. Na Alemanha, o termo *autômato* torna-se pejorativo, sinônimo de artifício e morte, sentido oposto às noções de vida, espontaneidade, liberdade e espírito. A partir disso, a cultura se encontra polarizada entre duas posições que se afrontam: o conhecimento científico – a ciência – e o conhecimento humanista – a filosofia⁸⁹. O conhecimento filosófico da natureza se encontra ... *mais próximo ... do gênio artístico, da atividade do criador que entra em ressonância direta com a da natureza criadora e produtora de formas do que do trabalho científico*⁹⁰. Para o

⁸⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 95.

⁸⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 95.

⁸⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 96.

⁸⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 96-7.

⁹⁰ ... *plus proche ... du génie artistique, de l'activité du création qui entre en résonance direct avec celle de la nature créatrice et productrice de formes, que du travail scientifique*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 97.

cientista, a natureza é um conjunto de objetos, manipuláveis e mensuráveis. Ele se apodera da natureza, submete-a e a controla, mas a desconhece⁹¹.

A transição entre Diderot e os românticos é feita por Kant, cuja crítica transforma o modo de abordar o problema da ciência. Kant identifica o objeto científico com o objeto newtoniano. Ao fazer isto, ele define a impossibilidade de uma oposição ao *mecanicismo*, pois esta oposição opera contra a ciência, desaparecendo o trabalho do entendimento em proveito de um outro tipo de conhecimento. Kant pretende reordenar o universo intelectual que é conduzido ao caos quando desaparece Deus, criador e garantia das ciências da natureza. Kant resolve o problema da verdade científica através da linguagem do entendimento⁹². A solução para o problema da experiência subjetiva e a transformação que ela supõe da liberdade e do destino singular de cada indivíduo são fornecidas pela possibilidade de uma moral centrada no sujeito humano, o que o torna criador e garantia da ordem dos fenômenos naturais. Então, o mundo dos fenômenos é reforçado por ... *uma realidade espiritual que alimenta a vida estética, moral e religiosa do homem*⁹³. Assim, a solução kantiana justifica tanto o conhecimento quanto a estranheza do homem no mundo descrito pela ciência. Ele evidencia o discurso mítico da ciência moderna, descrevendo a forma sistemática da física do século XVIII e apresentando o seu domínio de validade, determinando os fundamentos e os limites de sua legitimidade⁹⁴. A filosofia crítica é definida como transcendental porque afirma a possibilidade de um conhecimento sistemático, a priori, dos objetos da experiência. Torna-se, então, necessária a distinção entre as simples sensações e o conhecimento

⁹¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 97.

⁹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 97-8.

⁹³ ... *une réalité spirituelle que nourrit la vie esthétique, morale et religieuse de l'homme*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 98.

⁹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 98.

objetivo, o modo de conhecer do entendimento que não é passivo e sim constituinte dos objetos⁹⁵. Por exemplo, um fenômeno, tomado por objeto da experiência, existe a priori, antes de qualquer experiência, ou seja, apresenta um comportamento que obedece a uma lei, que obedece a um conjunto de princípios. Se o objeto da percepção responde à expectativa, é porque ele está submetido à esta lei, porque é produto da atividade sistemática a priori do espírito enquanto objeto de conhecimento possível. Assim, ao perceber os objetos do conhecimento, o sujeito percebe a si mesmo, ou, de outro modo, aquilo ... *que o cientista decifra na natureza, ele mesmo é a sua fonte*⁹⁶.

A revolução copernicana⁹⁷ consiste nesta evidência, na associação entre a condição de possibilidade da experiência de um objeto e a condição de possibilidade da sua existência⁹⁸:

*... o sujeito não “gira” mais à volta do seu objeto, tentando descobrir a que lei ele está submetido, que espécie de linguagem permitirá decifrá-lo; é ele que está no centro, que impõe a lei, e o mundo, tal como o percebe, fala a sua própria linguagem*⁹⁹.

Para Kant, o fato de todo conhecimento do objeto feito pelo entendimento estar submetido a priori aos conceitos não significa que o conhecimento desses objetos seja inútil. *O conhecimento dos conceitos a priori é em si mesmo vazio, sem conteúdo; o labor da ciência é necessário para submeter efetivamente o conjunto do mundo às categorias do conhecimento*¹⁰⁰.

⁹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 98.

⁹⁶ ... *le scientifique déchiffre dans la nature, il en est lui-même la source*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 99.

⁹⁷ Este termo é introduzido por Kant para apresentar a mudança de perspectiva na relação entre o conhecimento e seu objeto. Ao invés de admitir que a faculdade de conhecer se regula pelo objeto, mostra que o objeto se regula pela faculdade de conhecer. KANT, Do Tempo:1988. p. IX.

⁹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 99.

⁹⁹ ... *le sujet ne “tourne” plus autour de son objet, essayant de découvrir à quelle loi il est soumis, quel type de langage peut permettre de le déchiffrer; c’est lui qui est au centre, il impose la loi, et le monde, tel qu’il le perçoit, parle son propre langage*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 99.

¹⁰⁰ *La connaissance des concepts a priori est en elle-même une connaissance vide, sans contenu; le labeur de la science est nécessaire pour soumettre effectivement l’ensemble du monde aux catégories de la connaissance*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 99.

O *demônio de Laplace*, do ponto de vista kantiano, é uma ilusão racional. Porém, esta ilusão é também a convicção de que a natureza está submetida às leis que o cientista nela descobre. A justificação filosófica da linguagem da dinâmica, como estrutura formal fechada, e a descrição completa de um mundo homogêneo consiste na articulação entre todas as respostas possíveis e uma síntese universal¹⁰¹. A *filosofia transcendental*¹⁰², além de permitir que a ciência newtoniana se tornasse a atividade humana de exploração e codificação da natureza, garante a sua posição de domínio sobre a ciência, pois os resultados da atividade científica não trazem nada de novo¹⁰³.

A filosofia crítica de Kant remete a atividade científica ao domínio dos problemas fúteis e fáceis e reserva para si o domínio das questões que dizem respeito ao destino humano, ao que o homem pode conhecer, o que ele deve fazer e o que pode esperar. Tanto o cientista não pode conhecer a coisa em si quanto as questões levantadas por ele não têm importância para os verdadeiros problemas da humanidade. Questões como a beleza, a liberdade e a ética pertencem ao mundo noumenal, domínio da filosofia, totalmente estranho ao mundo fenomenal¹⁰⁴.

A posição crítica da filosofia de Kant sustenta que não há diálogo com uma ciência cujo discurso é mítico. Deste modo, ela subtrai ao saber positivo, mudo, sistemático, fechado em si mesmo e reserva para si a meditação sobre a existência humana, sobre a liberdade do homem, sobre tudo o que transcende as determinações positivas naturais¹⁰⁵.

¹⁰¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 99-100.

¹⁰² Kant denomina de transcendental ... *todo o conhecimento que em geral se ocupa não tanto com objetos, mas com nosso modo de conhecimento de objetos na medida em que este deve ser possível a priori*. KANT, 1988. p. 35.

¹⁰³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 100.

¹⁰⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 100.

¹⁰⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 101.

É possível uma nova filosofia da natureza, uma filosofia que permite pensar de maneira coerente a inserção do homem na natureza e suas perspectivas desimpedidas pela ciência. É possível retomar as questões filosóficas da natureza do homem e do seu lugar no mundo, no estudo da atividade da matéria e do ser vivo, voltando às categorias do kantismo¹⁰⁶.

Helmholtz, cientista alemão do século XIX, afirma que compreender a natureza é compreendê-la em termos mecânicos. Tanto Helmholtz quanto os fisiologistas concordam que o funcionamento físico-químico do ser vivo está submetido às mesmas leis que a matéria inanimada. Porém, estes não excluem a existência de uma *força vital* que justifica o desenvolvimento e a especificidade do ser vivo. Mas como essa força vital não interage com as forças físico-químicas, ela não é objeto de estudo da ciência. O vitalismo é aceito no meio científico do século XIX, mas constitui uma convicção subjetiva associada a uma atividade científica objetiva perfeitamente reducionista¹⁰⁷.

O conflito entre reducionismo e anti-reducionismo, iniciado no século XIX, constitui a cicatriz produzida pela ruptura com o pensamento filosófico¹⁰⁸.

A filosofia hegeliana da natureza é um exemplo de um pensamento filosófico à procura de coerência contra o reducionismo científico. Ela se opõe à idéia de redução e sistematiza a diferença entre comportamento simples e comportamento dos seres mais complexos. Nela, a diferença é aparente e a natureza é homogênea e simples. Há uma hierarquia em que cada nível é condicionado pelo que o precede, pelo que o ultrapassa e

¹⁰⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 102.

¹⁰⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 102-3.

¹⁰⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 103.

nega suas limitações para condicionar o nível seguinte, que manifestará, de maneira menos limitada, o espírito operando a natureza¹⁰⁹.

A idéia da distinção de vários níveis deve fundamentar-se contra a ciência matemática e limitar seu alcance, isto é, mostrar que as possibilidades de descrição dos comportamentos físicos se restringe aos casos triviais. A mecânica é matematizável porque atribui à matéria somente propriedades espaço-temporais. A resposta filosófica, constituída pelo sistema hegeliano, se apresenta exigente e rigorosa em relação ao problema posto pelo tempo e pela complexidade¹¹⁰.

Teorias que parecem incompatíveis com a física newtoniana surgem no fim do século XIX como alternativas. Uma dessas teorias é a bergsoniana, que se baseia na intuição. Uma das características da mesma, segundo Prigogine e Stengers, consiste no fato de ela não produzir um sistema universal, gerando resultados parciais. A inteligência científica formula generalizações, enquanto a intuição penetra as coisas em sua simplicidade, sem conclusão geral. Para ser comunicada, a intuição passa pela linguagem. Ela deve “cavalgar” as idéias para ser transmitida, mas com prudência e paciência infinitas, acumulando imagens e comparações concretas para abraçar a realidade: assim, ela sugere o que não pode ser exprimido. Para Bergson¹¹¹, a ciência e a metafísica intuitiva tratam da realidade mesma. Mas cada uma captura apenas a metade desta realidade, de modo que se poderia ver nelas ou duas subdivisões da ciência, ou dois departamentos da metafísica, se elas não indicassem direções conflitantes da atividade do pensamento. A ciência é produto da generalização e da abstração que se apropria da matéria, ela é produto da exigência vital de tirar partido do mundo. Seus

¹⁰⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 104.

¹¹⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 104.

conceitos são *determinados* pela necessidade de fabricar e manipular os objetos, de prever e agir sobre os corpos naturais. A inteligência científica não compreende a duração porque a reduz a uma sucessão de estados instantâneos, vinculados a uma lei de evolução *determinista*. A natureza constitui essa elaboração contínua de novidade, totalidade, apresentando um desenvolvimento aberto, sem finalidade predeterminada¹¹². Segundo Bergson, a intuição, e não o entendimento, constitui o fundamento do método de investigação do espírito humano¹¹³.

Merleau-Ponty mostra as consequências da repartição entre a ciência e a filosofia. Enquanto a ciência trata da natureza, a filosofia trata da subjetividade humana e da história. Ele vê na cosmologia de Whitehead uma possível volta à filosofia da natureza, tanto pelo procedimento pré-kantiano que adota, quanto pela coerência¹¹⁴. Whitehead apresenta a experiência humana como um processo que pertence à natureza. Este fato o faz recusar a idéia de natureza humana enquanto consciência, percepção e reflexão e considera a existência física como desejo, sensação, emoção, fim, decisão e luta contra o materialismo científico e sublinha as insuficiências do esquema teórico da ciência do século XVII. A cosmologia de Whitehead é uma tentativa de uma filosofia da natureza que não é dirigida contra a ciência. Para ele, o que importa é definir o problema no qual a questão da experiência humana e dos processos físicos podem ser postos com coerência para que o problema seja solúvel. O que diferencia uma teoria científica da filosofia é o fato de que, enquanto a primeira seleciona e abstrai na complexidade do mundo um conjunto particular de relações, a segunda deve constituir

¹¹¹ BERGSON, Henri. *La Pensée et le mouvant*, in *Ouvres*, éd. du Centenaire, Paris P.U.F., 1970. p. 1285 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 106.

¹¹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 106-7.

¹¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 108.

¹¹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 109.

uma coerência que dê lugar a todas as dimensões da experiência humana que dependam da física, da fisiologia, da psicologia, da biologia, da ética e da estética¹¹⁵. Para Whitehead, o devir criativo da natureza pode ser pensado se seus elementos são definidos como entidades individuais permanentes que mantêm sua identidade através das mudanças e interações. A reconciliação entre a permanência e o devir é importante para pensar as coisas enquanto processos, para pensar o devir enquanto constitutivo de entidades individuais que nascem e morrem. O sistema de Whitehead apresenta uma espécie de solidariedade entre duas filosofias: uma da relação e outra do devir inovador. Enquanto para a filosofia da relação ... *nenhum elemento da natureza é suporte permanente de relações mutáveis, cada um tira a sua identidade de suas relações com os outros*¹¹⁶, para a filosofia do devir inovador ... *cada ser existente unifica no processo da sua gênese a multiplicidade que constitui o mundo, e acrescenta a esta multiplicidade um conjunto suplementar de relações*¹¹⁷. A questão da permanência e da mudança na física leva a evocar entidades constituídas por interações *irreversíveis* com o mundo. Hoje, a pesquisa em física reconhece que, para uma interação ser real, é preciso, ao mesmo tempo, que a “natureza” das coisas entretendo relações seja um produto destas relações e que as relações, por sua vez, sejam produtos da “natureza” das coisas¹¹⁸.

A lição que se tira é que a filosofia e a ciência devem encontrar-se. A ciência deve aparecer como uma atividade cultural e não como uma operação inacessível, que

¹¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 110.

¹¹⁶ ... *aucun élément de la nature n'est support permanent de relations changeants, chacun tire son identité de ses relations avec autres...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 111.

¹¹⁷ ... *chaque existant unifie dans le processus de sa genèse la multiplicité qui constitue le monde, et ajoute à cette multiplicité un ensemble supplémentaire de relations.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 112.

¹¹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 112.

condensa o objeto em face do sujeito¹¹⁹. As teorias científicas não são uma resposta única e suficiente para a exigência de compreensão. Nenhuma teoria científica é suficiente para justificar uma redução do tempo semelhante àquela que opera na dinâmica clássica. Reduzir o tempo a uma lei *determinista* é negar a possibilidade de uma concepção da natureza que a defina como capaz de produzir os seres vivos. A ciência do complexo surge no século XIX com a termodinâmica. É neste contexto que o problema do devir incorpora a física. Neste período, surge a primeira resposta científica ao problema da complexidade natural, bem como a transformação cultural e técnica do mundo¹²⁰.

O desenvolvimento cultural, trazendo com ele as ciências da natureza, se torna uma realidade. Isto ocorre ao mesmo tempo em que as outras atividades intelectuais, artes, filosofia, ciências do homem e da sociedade perdem uma das fontes mais ricas de sua inspiração e sua originalidade própria. Agora, elas têm de lutar para escapar ao modelo das ciências da natureza, tanto mais fascinante quanto permanece obscuro¹²¹.

Apesar deste cenário, a ciência clássica, ciência de um mundo simples e passivo, está prestes a morrer. Ela está liquidada não pela crítica filosófica nem pela conformação empirista, mas sim por seu próprio desenvolvimento¹²².

Existe hoje uma convergência, ao menos parcial, das tentativas de abandonar o mito newtoniano sem recusar a tentativa de compreender a natureza. Esta convergência aponta para alguns temas fundamentais:

- a) o do tempo, que a ciência clássica descreve como *reversível*, como ligado unicamente à medida do movimento ao qual ela reduz toda mudança;

¹¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 112-3.

¹²⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 113.

¹²¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 62-3.

b) o da atividade inovadora, que a ciência clássica nega, opondo-lhe o *determinismo*;

c) o da diversidade qualitativa, sem a qual o devir é inconcebível, e que a ciência clássica reduz a mera aparência¹²³.

Atualmente, a ciência escapa ao mito newtoniano porque conclui, teoricamente, que é impossível reduzir a natureza à simplicidade de uma realidade governada por leis universais. A ciência de hoje não pode negar o interesse de outros pontos de vista e nem recusar compreender os das ciências humanas, da filosofia e da arte¹²⁴.

Hoje, pode-se falar de uma ressonância entre as ciências e a dominação leiga de um mundo industrializado, reforçada pela afinidade que se conhece entre o exercício dessa dominação e a prática compartimentada e muda da ciência. Através de uma ciência metamorfoseada, é novamente possível o diálogo cultural e uma nova aliança pode ser estabelecida com a natureza, em cujo devir participem o jogo experimental e a aventura exploratória da ciência. É uma possibilidade, pois a própria ciência convida hoje o cientista à inteligência e à abertura. Mesmo assim, resta a tarefa concreta, política e social de criar os circuitos de uma nova cultura¹²⁵.

A filosofia e a ciência devem encontrar-se e colocar fim à oposição que destrói a cultura. A ciência deve aparecer como uma atividade cultural e não como uma operação inacessível. O reinado da abstração que condensa o objeto diante do sujeito deve ser finalizado. Nenhuma ciência deve bastar para justificar uma redução do tempo como na dinâmica clássica. Negar o tempo, reduzi-lo ao *determinismo*, a uma lei *reversível*, é renunciar à possibilidade de uma concepção de natureza que seja capaz de produzir os

¹²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 63-4.

¹²³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 64.

¹²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 64.

¹²⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 64.

seres vivos e o homem. Negar o tempo é subtrair a possibilidade de uma filosofia crítica e submeter-se a uma ciência alienante¹²⁶.

¹²⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 112-13.

2. A Ciência do Complexo

O desenvolvimento da ciência do calor, com sua formulação matemática do processo irreversível, apresentada por Fourier, coloca um desafio à ciência newtoniana do movimento. Assim, a teoria das conversões de energia e a das máquinas térmicas geram a primeira ciência não-clássica, a termodinâmica. Ela introduz o conceito de “*flecha do tempo*” em física, estabelecendo uma direção para os fenômenos na natureza. Os desenvolvimentos contemporâneos da termodinâmica, juntamente com a descoberta dos processos de organização espontânea e das estruturas dissipativas, associadas ao acaso e à necessidade, permitem retomar o que a ciência clássica nega em nome da reversibilidade dos comportamentos elementares, ou seja, as noções de estrutura, de função e de história¹. A sensibilidade às condições iniciais, a instabilidade e a bifurcação, que modificam a relação entre a atividade do sistema e as condições que a determinam, fornecem uma abertura, na física, para o problema da evolução². Neste capítulo, são abordados, além do tema do acaso e da necessidade, os temas da termodinâmica e de seus desenvolvimentos, apresentando os primeiros indícios da metamorfose da ciência com a descoberta dos processos de organização e das estruturas dissipativas³.

¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 22.

2.1. A Energia e a Era Industrial

No século XVIII, a química é considerada a ciência do fogo e reconhecida como ciência experimental. Ela promove o que é negado em nome das trajetórias dinâmicas: a irreversibilidade⁴ e a complexidade. Isto ocorre porque o fogo tem o poder de transformar as coisas, promovendo reações químicas entre os corpos, a dissolução, a dilatação, a liquefação, a evaporação e a queima de combustível com desprendimento de chamas. Neste época, Adam Smith escreve a *“Riqueza das Nações”* na mesma universidade em que James Watt aperfeiçoa a máquina a vapor. Até então, a única utilidade do carvão é o aquecimento dos operários e as únicas fontes de energia são o vento, a água e os animais, que movimentam as máquinas simples. As máquinas térmicas, fruto das novas investigações, permitem, então, o surgimento do problema das transformações que o calor provoca nos corpos. A termodinâmica nasce deste problema: mover um motor através do calor⁵.

O advento das máquinas térmicas estabelece uma grande distância entre o espírito clássico e a cultura do século XIX. Mas a física ignora essa diferença e descreve tanto as novas máquinas como as antigas, do ponto de vista da equivalência e do

² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1992. p. 63.

³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 22.

⁴ Segundo Prigogine, o *indeterminismo* não deve ser confundido com a ausência de previsibilidade, que tornaria ilusória toda a ação humana. Trata-se do limite à previsibilidade. De qualquer modo, o indeterminismo não traduz uma opção metafísica, ele é a consequência da descrição estatística exigida pelos sistemas dinâmicos instáveis. PRIGOGINE, 1996. p. 115.

⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 117.

rendimento ideal, e nega que o que é consumido pelas máquinas a vapor desaparece sem recuperação⁶.

A ciência do complexo é inaugurada com um evento simbólico. O estudo teórico de Fourier sobre a propagação do calor nos sólidos inaugura a ciência do complexo. Este estudo se mantém, apesar das críticas feitas por Laplace e por Lagrange, pois é fundamentado matematicamente, mesmo sendo estranho ao universo newtoniano. Neste momento, a física matemática deixa de ser sinônimo de ciência newtoniana, porque, para Fourier, é impossível reduzir a propagação do calor a interações dinâmicas⁷. Sua lei enuncia que o fluxo de calor entre dois corpos é proporcional à diferença de temperatura entre eles⁸. Deste modo, a relação entre as forças e as acelerações dinâmicas e o processo de propagação do calor descreve uma lei geral tal como as leis newtonianas, pois descreve um fenômeno tão universal quanto o da gravitação⁹. Nesta nova abordagem, as interações entre um grande número de partículas e a assimetria temporal se encontram associadas. Para compreender como esta associação foi reconhecida e integrada pela física, é preciso retomar o desenvolvimento da ciência do calor e o estudo das diferentes fontes que a alimentaram: métodos da física matemática, experimentos em laboratório, bem como os avanços tecnológicos e os projetos metafísicos¹⁰.

No início do século XIX, vários centros de pesquisa descobrem que o movimento produz outras modificações além daquelas decorrentes da posição que os corpos ocupam no espaço¹¹. Galvani é o primeiro a fazer experimentos com estes novos campos e cria o primeiro circuito elétrico experimental com o corpo de uma rã. Volta

⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 128.

⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 119.

⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 118-9.

⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 119.

¹⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 120.

percebe a passagem de corrente elétrica nas contrações “galvânicas” da rã e em 1800 constrói e põe em funcionamento a pilha química. Outros experimentos possibilitam a descoberta da eletrólise¹², como o experimento que evidencia a produção de luz e calor gerados pela corrente elétrica¹³. Em 1820, Oersted mostra os efeitos magnéticos da corrente elétrica. Em 1822, Seebeck estabelece que o calor produz corrente. Em 1831, Faraday evidencia a produção de corrente induzida por efeitos magnéticos. Em 1834, Peltier mostra como resfriar um corpo através da eletricidade. Em 1847, Joule estabelece a conexão entre a química, a termodinâmica, a eletricidade, o magnetismo, a biologia e formula a conversão entre duas propriedades: a quantitativa e a qualitativa. Esta conversão postula que a propriedade quantitativa se conserva enquanto a propriedade qualitativa muda de forma. Joule define estas relações entre as formas qualitativas como energia. O caráter quantitativo dos processos físico-químicos é estabelecido e, assim, as transformações que os sistemas físicos, químicos e biológicos podem sofrer tornam-se a base e o fio condutor da ciência do complexo, para explorar a multiplicidade dos processos naturais¹⁴.

Na França e na Inglaterra, a formulação das leis de difusão é o ponto de partida de histórias diferentes. Na França, o fracasso do sonho de Laplace vai encorajar o enclausuramento positivista da ciência. O calor e a gravitação coexistem, mas são antagônicos, pois enquanto a gravitação afeta a massa apenas em seu movimento, o calor transforma a matéria e determina uma mudança em seu estado. A partir daí, o positivismo procura classificar as ciências sob o signo do equilíbrio e da ordem. Ao equilíbrio dinâmico entre forças se acrescenta o equilíbrio térmico através da

¹¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 122.

¹² A eletrólise consiste na utilização da eletricidade para efetuar reações químicas, ou seja, o uso de corrente elétrica para gerar uma reação química. BARROS, 1992. p. 63.

¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 123.

¹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 123.

propagação do calor¹⁵. Na Inglaterra, a teoria da propagação do calor vai constituir o ponto de partida de questionamentos sobre a irreversibilidade, que nunca deixaram de abalar as classificações¹⁶.

Não é de espantar que o princípio da conservação da energia tenha grande importância no século XIX. Para muitos físicos da época, a natureza inteira se encontra unificada, e não apenas alguns campos experimentais. Para Joule, a ordem do Universo é mantida através da conversão da atração no espaço, da energia cinética e do calor. Todo o Universo funciona em harmonia. Os alemães Helmholtz, Mayer e Liebig, embora pertençam a uma cultura que rejeita o argumento de Joule em nome de uma prática estritamente positiva, chegam, através dos estudos da fisiologia da respiração, a uma conclusão semelhante à de Joule: a idéia de que a natureza, em sua totalidade, está unificada por uma legalidade geral. Mayer explica a cor vermelho-viva do sangue de um de seus pacientes nos trópicos pelo fato de que numa região mais quente é preciso queimar menos oxigênio para manter a temperatura do corpo. Isto lhe permite “saltar” para a conclusão de que se trata de uma manifestação particular de uma força única e indestrutível que está na base da natureza¹⁷.

A “*predisposição*”, a reconhecer nas transformações naturais o produto de uma realidade que se mantém idêntica a si mesma através de suas transformações evoca uma forma de kantismo. Coisa semelhante ocorre com uma idéia dos fisiólogos: mesmo se uma força “*vital*” se encontra na base do funcionamento dos seres vivos, o objeto desta fisiologia ainda é físico-químico. Assim, pode se ver como o kantismo, que confirma a

¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 119.

¹⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 119-20.

¹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 124-5.

forma sistemática dada à física matemática no século XVIII, consegue apresentar-se como uma das raízes da renovação da física, no século XIX¹⁸.

Helmholtz reconhece esta diferença. Para ele, o princípio de conservação da energia é a concretização, no interior da física, da exigência de inteligibilidade da natureza aceita como condição prévia a toda a ciência, qual seja, o postulado de uma invariância fundamental que se encontra além das transformações na natureza¹⁹.

O princípio de conservação da energia se torna importante tanto para as teorias científicas quanto para a imagem da ciência. Esta ciência da energia retoma as diferentes teorias físicas e as reformula em uma concepção que se estabelece como a verdade final da física²⁰.

A ressonância cultural foi imensa: nova concepção do homem como máquina energética, nova concepção da sociedade como motor, nova concepção da natureza como “*energia*”, ou seja, como poder de criação e produção de diferenças qualitativas²¹. Mas o princípio de conservação da energia é ambíguo, pois a natureza que ele descreve parece econômica, bem articulada, tranquila e controlável, submetida e reduzida às equivalências experimentais. A ciência, que descreve estas transformações sob o signo da equivalência, deve todavia admitir que só a diferença pode ser produtora de efeitos que sejam por sua vez, diferenças. Deste modo, a transformação da energia representa, então, a destruição de uma diferença através da criação de uma outra. Assim, ela revela e dissimula, ao mesmo tempo, o poder da natureza. Porém, a convicção de que esta natureza não é um sistema ordenado, mas o eterno desdobramento duma potência produtora de efeitos antagônicos, tem raízes filosóficas²².

¹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 125-6.

¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 126.

²⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 126.

²¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 126-7.

²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 126.

A ciência da energia descreve a natureza como um conjunto de dispositivos de transformação, regidos por processos reversíveis. Mas a natureza, é vista, por muitos, como reservatório de máquinas ameaçado de esgotamento a longo prazo. Assim, o conceito de irreversibilidade traduz uma obsessão na física da conservação: o mundo queima como uma fornalha, irrecuperavelmente, é preciso que a energia, ao conservar-se, se dissipe. Tudo começa de forma clássica: a termodinâmica, nascida em 1824, com o trabalho de Sadi Carnot sobre a *força motriz* do fogo, consegue reduzir o estudo das máquinas térmicas ao modelo das máquinas simples. O funcionamento destas últimas supõe o movimento como dado. O importante é transformar e transferir este movimento para outros corpos. Sadi Carnot parte do fluxo de calor entre duas fontes de temperaturas diferentes, uma fria e outra quente. Assim, o que ocorre nas fornalhas deixa de ser importante. Agora, só o efeito da combustão interessa: a preservação, no sistema motor, de um corpo com temperatura quente e de outro com temperatura fria²³.

A máquina térmica ideal, ao invés de evitar todo o contato de corpos de *velocidades* diferentes, evita todo contato de corpos com *temperaturas* diferentes, pois todas as mudanças bruscas de movimento determinam uma perda sem retorno da “força viva”. O ciclo é concebido de tal modo que nenhuma alteração na temperatura produza um fluxo direto de calor entre dois corpos a diferentes temperaturas. Esse fluxo, sem qualquer efeito mecânico de dilatação ou de contração, representa uma perda integral de rendimento²⁴.

Carnot associa a origem das perdas de potência do motor térmico ao fenômeno universal da propagação do calor, descrito pela lei de Fourier. O ciclo de Carnot²⁵

²³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 128.

²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 129.

²⁵ Este ciclo, apresentado por Carnot, mostra o paradoxo do transporte de calor, mesmo não havendo contato entre corpos. Ele divide-se em quatro fases. Nas duas fases isotérmicas – processos realizados à temperatura constante –, o sistema está em contato com uma das fontes térmicas e é mantido à

transforma-se no encontro das duas “universalidades” descobertas pelo século XIX: a da conservação da energia e a da propagação do calor:

... e dado que a propagação irreversível do calor é, neste contexto, sinônima de perda de rendimento, ela tornar-se-á, desde 1852, tendência para a degradação universal da energia mecânica.²⁶

Em 1850, Clausius descobre que a necessidade das duas fontes térmicas, no ciclo de Carnot, e a fórmula do rendimento ideal traduzem o problema dos motores térmicos²⁷. Pela interpretação de Clausius, a natureza é um reservatório inesgotável de energia térmica, mas nem todos os processos que conservam energia são possíveis²⁸. Nesta interpretação, Clausius faz surgir uma linguagem nova, centrada no conceito de *entropia*. Essa linguagem evidencia o problema termodinâmico, qual seja, a dissociação entre os conceitos de conservação e de reversibilidade:

... contrariamente às transformações mecânicas, onde os ideais de reversibilidade e de conservação coincidem, uma transformação físico-química pode conservar a energia, embora não possa ser invertida. Tal é o caso do atrito, em que o movimento se converte em calor, ou da difusão do calor descrita por Fourier²⁹.

temperatura dessa fonte. Enquanto estiver em contato com a fonte quente, absorve calor e dilata-se; em contato com a fonte fria, perde calor e comprime-se. As duas fases isotérmicas são conectadas entre si por outras duas fases adiabáticas – nas quais o sistema não troca calor com o meio, mas varia a temperatura em função da variação de seu volume (HALLIDAY et al., 1996. p. 188) – fases em que o sistema é isolado das fontes, ou seja, o calor não entra nem sai mais do sistema, mas este varia a temperatura, comprimindo-se e dilatando-se. O volume se altera até que o sistema passe de uma fonte a outra com temperatura diferente. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 130

²⁶ *... et puisque la propagation irréversible de la chaleur est, dans ce contexte, synonyme de perte de rendement, elle deviendra, dès 1852, tendance à la dégradation universelle de l'énergie mécanique.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 132.

²⁷ Os motores térmicos, ou máquinas térmicas, são dispositivos que convertem calor em trabalho útil. Para que o trabalho seja útil, uma máquina deve operar em ciclo, retornando ao ponto de partida após realizar o trabalho. Este ciclo consiste em várias etapas, realizadas reversivelmente. HALLIDAY et al., 1996. p. 241.

²⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 131.

²⁹ *... contrairement aux transformations mécaniques où les idéaux de réversibilité et de conservation coïncident, une transformation physico-chimique peut conserver l'énergie tout en ne pouvant être renversée. Tel est le cas du frottement, où le mouvement se convertit en chaleur, ou de la diffusion de chaleur décrite par Fourier.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 133.

Segundo Clausius, o motor retorna ao estado inicial após completar um ciclo³⁰, compensando o calor que é convertido em trabalho. Para isso, uma função de estado³¹ é introduzida. Mesmo conhecendo essa função, a variação da energia (ou fluxo de calor) que ocorre no sistema é insuficiente para caracterizar a passagem entre dois estados, tornando-se necessário encontrar o meio de exprimir os fluxos de calor úteis e os fluxos dissipativos³². Esse é o papel da nova função de estado denominada *entropia*³³.

A termodinâmica de Clausius não procura definir os processos irreversíveis, mas apenas afirmar sua existência. Em 1865, ele fornece um caráter cosmológico aos princípios da termodinâmica:

- a energia do Universo é constante³⁴, ou seja, nos processos reversíveis (sistema isolado), a passagem de um estado de equilíbrio para outro, que ocorre entre o sistema e sua vizinhança, conserva a entropia inalterada³⁵;
- a entropia do Universo aumenta até um máximo³⁶, isto é, nos processos irreversíveis, a entropia (evolução espontânea) do sistema e sua vizinhança deve crescer³⁷. Em todos os processos naturais, a entropia indica uma evolução e traduz a existência de uma “flecha do tempo”, ou seja, uma direção na qual a entropia sempre aumenta³⁸.

O trabalho mecânico produzido e a diminuição da diferença de temperatura estão ligados idealmente por uma equivalência reversível, o que torna possível à mesma

³⁰ Para descrever um ciclo, o sistema deve sair do estado inicial, passar por algumas fases e retornar ao estado inicial.

³¹ Em um sistema termodinâmico, as funções de estado, ou seja, as variáveis de estado constituem os parâmetros que serão utilizados para descrever o estado do sistema, como o volume, a pressão, a temperatura e a quantidade de calor.

³² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 133.

³³ ... *a function of state, called entropy (from the Greek εν τροπη meaning “evolution”)* ... PRIGOGINE, 1967. p. 15.

³⁴ *Die Energie der Welt ist konstant.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 136.

³⁵ Cf. HALLIDAY et al., 1992. p. 253.

³⁶ *Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 136.

³⁷ Cf. HALLIDAY et al., 1992. p. 253.

máquina funcionar ao contrário e restaurar a diferença inicial, consumindo o trabalho produzido³⁹. Porém, algo muda no estatuto destas idealizações: a ciência nova, fundada sobre o princípio de conservação da energia, não pretende mais descrever uma idealização, mas a própria natureza, inclusive as “perdas”. E assim incorpora o problema da irreversibilidade. A noção de *processo irreversível* se apresenta como o problema do rendimento dos motores térmicos, ou seja, da relação entre o trabalho produzido por um sistema e a quantidade de calor necessária para produzi-lo. A questão tecnológica posta por Carnot e Clausius desemboca na descrição dos motores ideais, mas abre também um nova questão: a da dissipação da energia⁴⁰.

Thomson é o primeiro a ter condições de responder à questão da dissipação da energia e enunciar o segundo princípio da termodinâmica⁴¹. Ele dá o salto da tecnologia do funcionamento dos motores para a cosmologia, já comentado no caso de Clausius. A sua cosmologia descreve as consequências da propagação irreversível do calor num mundo descrito de tal forma que a energia se conserva. Esse mundo é apresentado como uma máquina na qual a transformação do calor em movimento só ocorre devido à dissipação, isto é, devido ao desperdício irreversível de uma certa quantidade de calor, diminuindo as diferenças de temperatura, até o momento em que estas desaparecem totalmente, conduzindo o mundo para um estado final definido por Fourier como o estado de equilíbrio térmico⁴².

Culturalmente, o tema do tempo toma uma importância singular, no século XIX. Em todos os campos se descobre seu caráter essencial: evoluções geológicas, das espécies, das sociedades, da moral, do gosto, das linguagens. Deste modo, a forma em

³⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 136.

³⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 131.

⁴⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 131.

⁴¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 131.

⁴² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 132.

que o tempo se introduz na física, ou seja, a sua evolução para a homogeneidade e para a morte, ressoa com arquétipos míticos e religiosos antigos. Além disso, as repercussões culturais da mutação social e econômica da época, como, por exemplo, a transformação do modo técnico de inserção na natureza e o progresso que se acelera, conduzem os homens a uma inquietação expressa pelo sucesso de proposições tais como “*limites de crescimento*” ou “*crescimento zero*”. O temor do esgotamento dos estoques e da parada dos motores, a idéia de um declínio irreversível, tudo isto, traduz uma certa angústia própria ao mundo moderno⁴³.

As transformações reversíveis pertencem à ciência clássica, enquanto definem a possibilidade de agir e de controlar um sistema. Assim, o objeto dinâmico é controlado pelas condições iniciais, que levam a uma evolução desejada, a um estado predeterminado. O objeto termodinâmico, definido como transformação reversível, é controlado pelas condições-limite⁴⁴. O caráter reversível da evolução e a submissão ao controle por estas condições-limite são totalmente solidários. Aqui, a irreversibilidade é definida negativamente, porque aparece como uma evolução não-controlada que é produzida a cada vez que o sistema escapa à manipulação. Este fato mostra que o objeto termodinâmico, ao contrario do objeto dinâmico, só é controlado parcialmente, pois ele pode evoluir espontaneamente, mas nem todas as suas evoluções se equivalem⁴⁵.

A descrição da natureza elaborada pela física clássica privilegia as transformações naturais que podem ser idealizadas como reversíveis, porém, as perdas, isto é, o desvio entre o reversível e a transformação real, são irreversíveis, o que faz lembrar o caráter intrinsecamente irreversível da maior parte das evoluções naturais.

⁴³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 132-3.

⁴⁴ As condições-limite correspondem às condições iniciais, na mecânica. Porém, são caracterizadas pelo estado de equilíbrio termodinâmico, no qual o sistema muda gradualmente ou a temperatura, ou o volume, ou a pressão, passando por uma série de estados de equilíbrio e retornando ao estado inicial.

⁴⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 136.

Isto torna a entropia, então, um indicador de evolução e traduz a existência da flecha do tempo⁴⁶.

A entropia retoma seu valor inicial após completar um ciclo⁴⁷. Este ciclo pode ser caracterizado sob dois aspectos: o caso ideal e o caso real. No caso de um ciclo ideal, o fluxo de entropia⁴⁸ pode ser definido por uma relação de equivalência entre a variação de calor e as trocas deste com o meio. No caso dos ciclos não-ideais, a variação da entropia dS aparece como uma soma dos fluxos internos e externos e cada um dos termos compreende propriedades diferentes. A parte do fluxo externo⁴⁹, d_eS que descreve o fluxo de entropia entre o meio e o sistema, pode ser anulada por uma inversão desses fluxos, porém as trocas com o meio provocam outras transformações no interior do sistema, que são irreversíveis⁵⁰. Já o fluxo interno⁵¹, d_iS deve ser sempre positivo ou nulo. Assim, a variação da entropia dS é a soma de dois termos, d_eS e d_iS , que possuem propriedades diferentes. O primeiro depende somente do sentido das trocas de calor com o meio, enquanto o segundo faz aumentar a entropia ou a mantém constante. No caso da energia, a situação é diferente. O princípio de conservação da energia⁵² afirma não existir produção dela, mas somente sua transferência de um lugar para outro do espaço. O enunciado da segunda lei faz o termo da produção de entropia ser sempre positivo⁵³, traduzindo-a, portanto, como uma evolução irreversível do

⁴⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 135.

⁴⁷ Ver nota 30 deste capítulo, a descrição de ciclo.

⁴⁸ ... *the flow of entropy*... PRIGOGINE, 1967. p.16.

⁴⁹ ... *the flow of entropy, due to interactions with the exterior*... PRIGOGINE, 1967. p. 16. Essa contribuição descreve o fluxo de entropia entre o meio e o sistema.

⁵⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 134.

⁵¹ ... *the contribution due to changes inside the system*, ... PRIGOGINE e STENGERS, 1967. p. 16. Essa contribuição descreve o fluxo de entropia dentro do sistema.

⁵² No caso da energia, dE é igual à soma de um termo ligado às trocas d_eE e de um termo ligado à produção d_pE no interior do sistema. Neste caso, o sinal do termo “produção” não é dado. A variação dE da energia reduz-se ao termo d_eE . PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 135.

⁵³ A Segunda lei da termodinâmica contém dois elementos fundamentais: (1) um negativo, que expressa a impossibilidade de certos processos – como o fluxo de calor de uma fonte quente para uma fria e vice-versa; (2) um positivo, que aumenta uniformemente para sistemas isolados. Este elemento é que permite

sistema⁵⁴ e apresentando um avanço espontâneo para o equilíbrio, diferente da evolução determinada e controlada. Assim, para um sistema isolado, o equilíbrio aparece como um atrator dos estados de não-equilíbrio⁵⁵.

Para Planck, a natureza “privilegia” certos estados. Nestes, o crescimento irreversível da entropia descreve a aproximação do sistema a um estado que o “atrai”, que ele prefere e do qual não se afasta espontaneamente. Planck explica que, nas mudanças reversíveis, a natureza tem tanta propensão para o estado inicial como para o estado final, fazendo com que a passagem de um ao outro se torne possível nos dois sentidos. Enquanto, na dinâmica, o sistema evolui numa trajetória dada que guarda a lembrança do seu ponto de partida, na termodinâmica, ao contrário, todos os sistemas em estado de não-equilíbrio evoluem para o mesmo estado de equilíbrio. Neste caso, chegando ao equilíbrio, o sistema esquece suas condições iniciais, ou seja, esquece a maneira como foi preparado. Aqui, as duas descrições diferentes convergem, a dinâmica, aplicável ao mundo das massas em movimento, e a termodinâmica, base da ciência do complexo. Contudo, a oposição entre estado atrator e lei do movimento coloca o problema da articulação entre as duas descrições e a possibilidade de passagem de uma à outra⁵⁶.

Boltzmann é o primeiro a enfrentar o desafio desta passagem, pensando-a no caso de níveis microscópicos e macroscópicos⁵⁷. Ele formula conceitos novos que ampliam a física das trajetórias para situações descritas pela termodinâmica. Essa inovação surge com a aplicação do conceito de *probabilidade*⁵⁸. A probabilidade

introduzir a função entropia, que funciona como um atrator para sistemas isolados. PRIGOGINE e STENGERS, 1984. p. 122.

⁵⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 135.

⁵⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 137.

⁵⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 137.

⁵⁷ Lembrando que os estados macroscópicos correspondem a um grande número de partículas e o estado microscópico corresponde a um número muito pequeno.

⁵⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 140.

intervém como auxiliar na descrição de um fenômeno complexo. Maxwell se inspira na obra de Quételet, o criador do homem médio em sociologia, introduzindo a probabilidade como princípio explicativo em física para mostrar que um sistema pode adotar um novo comportamento pelo fato de ser formado por uma população numerosa. Nos sistemas compostos por um grande número de partículas, todo o estado diferente da equipartição⁵⁹ pode ser qualificado como muito improvável. Porém, Boltzmann é o primeiro a interpretar o crescimento irreversível da entropia como crescimento da desordem molecular, do esquecimento progressivo de toda dissimetria inicial. A idéia de Boltzmann consiste em identificar a entropia com o *número de complexões*⁶⁰.

Esta formulação da entropia faz da evolução termodinâmica irreversível um avanço em direção a estados de probabilidade crescente, e, do estado atrator, o estado macroscópico realizado pelos estados microscópicos nos quais se encontra o sistema. Esta formulação mostra-se muito distante da formulação de Newton, pois, pela primeira vez, um conceito físico é explicado em termos de probabilidade. Assim, a interpretação probabilista de Boltzmann permite compreender a singularidade dos estados atrativos que são estudados pela termodinâmica e seu raciocínio é estendido aos sistemas fechados e abertos que admitem o equilíbrio. Este é o princípio de ordem, formulado por Boltzmann, o qual prevê a formação de estruturas físicas ordenadas e descreve a coexistência de fases diferenciadas dentro de um sistema. Estas estruturas são definidas em escala molecular e resultam da compensação estatística da atividade do grande número de constituintes. Elas são desprovidas de atividade macroscópica, inertes em

⁵⁹ A equipartição consiste em uma divisão de partes iguais no sistema.

⁶⁰ O termo *complexões* se refere a microestados disponíveis. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 139-40.

nível global e, uma vez formadas, podem ser isoladas e mantidas indefinidamente, sem qualquer necessidade de intercâmbio com o meio⁶¹.

Para conseguir um sistema em equilíbrio, é necessário protegê-lo dos fluxos da natureza, é preciso pô-lo numa redoma - ou numa garrafa, como o homúnculo frágil e artificial do *Segundo Fausto* de Goethe⁶².

Durante muito tempo, a ordem dos cristais é definida como a única previsível e reprodutível, enquanto a evolução para a desordem e a inércia são definidas como a única dedutível das leis fundamentais da física. Desde então, as extrapolações tentadas a partir das descrições termodinâmicas definem como rara e imprevisível a evolução descrita pelas ciências biológicas e pelas ciências da sociedade e da cultura, que envolve a amplificação das inovações. A termodinâmica do equilíbrio é apresentada como a primeira resposta dada pela física ao problema da complexidade na natureza e esta resposta surge como dissipação da energia, esquecimento das condições iniciais e evolução para a desordem⁶³.

2.2. Os Três Estágios da Termodinâmica

Para compreender o sentido físico da segunda lei, é preciso analisar mais de perto os diferentes fenômenos irreversíveis, como a difusão de calor, a difusão da matéria, as reações químicas, e verificar como eles se ligam à produção de entropia⁶⁴.

⁶¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 140.

⁶² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 143.

⁶³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 143.

⁶⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 145.

A classe de processos irreversíveis constituídas pelas reações químicas é de fundamental interesse, devido ao importante papel que desempenham em biologia. A célula viva, por exemplo, é a sede de atividades metabólicas nas quais as reações químicas são produzidas. Estas últimas transformam a matéria da qual a célula se nutre, sintetizam seus constituintes e lançam para o exterior os produtos não utilizáveis. A estrutura biológica une, assim, a ordem e a atividade, em contraste com os estados de equilíbrio, que podem ser ordenados, mas são inertes. Os processos químicos fornecem, também, a diferença de comportamento entre um cristal e uma célula⁶⁵.

Através da força química ou da afinidade química, o sentido de uma reação química fica determinado como nulo em equilíbrio e valor absoluto desta força é tanto mais elevado quanto mais afastado do equilíbrio o sistema se encontrar. A afinidade química mede, também, a distância do sistema em relação ao equilíbrio e o sentido das reações químicas capazes de conduzir o sistema para o estado atrator. Ela traduz as preferências da natureza, suas tendências, assim como a irreversibilidade. Ela representa a antiga afinidade com a qual os químicos decifram as relações eletivas entre corpos químicos, como os amores e os ódios moleculares. Com isso, a idéia de que a atividade química é irreduzível às leis dinâmicas é sempre lembrada, pois na química não há submissão e cada corpo faz tudo. A termodinâmica, que torna o equilíbrio químico possuidor de afinidade nula, um exemplo de estado atrator, retoma então um antigo problema, aquele da força de atração entre as massas, no novo quadro teórico da ciência do século XIX⁶⁶. Porém, por ser um exemplo de processo, a reação química possui um “início” e um “fim” que escapa às teorias da física reversível. A mecânica quântica pode

⁶⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 145.

⁶⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 149.

descrever as propriedades de estabilidade das diferentes moléculas, mas não a dimensão irreversível do processo ao longo do qual duas moléculas interagem e se transformam⁶⁷.

A produção de entropia permite distinguir três grandes domínios da termodinâmica. O primeiro é o da produção de entropia, em que os fluxos e as forças são nulos em equilíbrio. O segundo domínio está próximo do equilíbrio, no qual as forças termodinâmicas são fracas, e o fluxo é uma função linear da força. O terceiro domínio, chamado *não-linear*, é aquele em que o fluxo é uma função mais complicada da força⁶⁸.

Em 1931, Onsager descobre a primeira relação geral no domínio da termodinâmica de não-equilíbrio. Trata-se das célebres *relações de reciprocidade*. Nestas, quando um processo irreversível é influenciado por uma força e um outro irreversível é também influenciado por esta mesma força, então os dois efeitos são expressos através da mesma grandeza. Estas relações de reciprocidade são válidas independentemente de qualquer hipótese microscópica, constituindo-se como o primeiro resultado na termodinâmica dos fenômenos irreversíveis. Seu domínio é tema de estudo semelhante ao da termodinâmica de equilíbrio. Todavia, a termodinâmica de equilíbrio é obra do século XIX e a de não-equilíbrio, do século XX. Desta forma, as relações de Onsager se apresentam como o ponto crucial na transferência de interesse do equilíbrio para o não-equilíbrio⁶⁹.

A atividade irreversível, contudo, não impede uma evolução irreversível de constituir uma passagem para um estado que seja inteiramente dedutível de leis gerais e, também, de se identificar a um “devir geral” e não a um “devir singular” ou “complexo”. Neste sentido, a termodinâmica linear não permite ultrapassar o paradoxo

⁶⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 150.

⁶⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 150-1.

⁶⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 151-2.

da oposição entre Darwin e Carnot, entre a aparição de formas naturais organizadas e a tendência física à desorganização⁷⁰.

Na origem do desenvolvimento da termodinâmica não-linear situa-se uma constatação cuja fecundidade é muito mais notável porque constitui também um resultado negativo: não é possível encontrar um método geral de definição duma função potencial⁷¹ para sistemas em que os fluxos não são funções lineares das forças. Sendo assim, longe do equilíbrio, a produção de entropia descreve os diferentes regimes termodinâmicos, mas não permite definir um estado atrator, termo estável da evolução irreversível⁷².

Surge, então, um novo problema, o da estabilidade dos estados para os quais um sistema pode evoluir, na ausência de uma função potencial. Quando o estado atrator é definido por um extremo de um potencial, sua estabilidade é assegurada. Mas, como as flutuações podem afastar o sistema dos extremos e conduzi-lo à desordem, a segunda lei aparece para “garantir” que o sistema regresse ao estado atrator, protegendo-o dos desvios que a desordem possa desencadear. Assim, depois de definido um potencial, é possível descrever um “mundo estável”, no qual o sistema segue uma evolução que o leva a imobilizar-se, por imposição do extremo correspondente da função potencial⁷³.

Os fenômenos de escoamento dos fluidos, em hidrodinâmica, são bem conhecidos. Sabe-se que, a partir de uma certa velocidade de escoamento, turbilhões se formam num fluido. Para Michel Serres, a ciência antiga preocupa-se com esses escoamentos turbulentos. Eles são a fonte de inspiração da física lucreciana. Para

⁷⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 153.

⁷¹ A melhor referência a um potencial é aquela que, em mecânica, surge com a energia potencial gravitacional. Um potencial é definido pelo seu nível de referência entre o corpo e a altura em que este se encontra. Por exemplo, uma bola que se encontra a uma certa altura do solo possui um potencial gravitacional máximo. Consequentemente, possui um potencial gravitacional nulo, quando perde sua altura. Assim, a função potencial é aquela que estabelece uma diferença entre níveis de referência.

⁷² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 153-4.

⁷³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 153-4.

Lucrécio, em tempos e lugares incertos, um desvio mínimo, o *clinâmen*, perturba o movimento dos átomos. Do turbilhão nasce um mundo e um conjunto de coisas naturais. O *clinâmen* é criticado como uma fraqueza da física lucreciana, um postulado absurdo, desvio sem motivo, artificial e introduzido pela necessidade de uma justificativa. Mas ele traduz o conhecimento de que o *fluxo laminar* pode deixar de ser estável e dar lugar à organização turbilhonar⁷⁴.

O estudo de Bénard é um caso no qual a instabilidade do estado estacionário determina um fenômeno de auto-organização espontânea. Neste caso, o movimento de convecção⁷⁵ que se instala constitui uma organização espacial ativa do sistema, em que bilhões de moléculas movem-se de maneira coerente, formando células de convecção. Uma flutuação, uma corrente microscópica de convecção, em vez de enfraquecer, é amplificada até se tornar uma corrente macroscópica que invade todo o sistema⁷⁶.

Deste modo, longe do equilíbrio, a noção de probabilidade, centro do princípio de ordem de Boltzmann, perde sua validade, pois a tendência para o esquecimento das diferenças não retorna senão como um caso particular. Assim, *os fluxos irreversíveis podem criar, de maneira previsível e reprodutível, a possibilidade de processos locais de auto-organização*⁷⁷. Da mesma maneira, um fenômeno como o aparecimento de formas vivas é considerado previsível do ponto de vista da teoria física. A vida, por

⁷⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 154-5.

⁷⁵ A convecção é um processo de transmissão de calor que ocorre nos fluidos – a água e o ar – de uma região para outra no interior do fluido. Nas regiões onde a temperatura é maior, o fluido é menos denso e sobe, devido ao empuxo – nos corpos submersos, corresponde à força dirigida para cima igual ao peso do corpo deslocado. Nas regiões onde a temperatura é menor, o fluido é mais denso e desce. Assim, aparecem movimentos, no fluido, entre as regiões mais aquecidas e aquelas menos aquecidas. HALLIDAY et al., 1992. p. 232.

⁷⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 155.

⁷⁷ ... *les flux irréversibles peuvent créer, de manière prévisible et reproductible, la possibilité de processus locaux d'auto-organisation*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 156.

exemplo, escapa ao princípio de ordem de Boltzmann, mas se mantém na ordem das possibilidades na termodinâmica longe do equilíbrio⁷⁸.

O conceito de *estrutura dissipativa* surge como associação das idéias de *ordem* e de *desperdício*. A dissipação de energia e matéria, em geral vista como causa de perda de rendimento e de evolução para a desordem crescente, torna-se, longe do equilíbrio, fonte de ordem. Estas estruturas constituem uma forma de organização supermolecular e os parâmetros que as descrevem são de ordem macroscópica⁷⁹.

O destino das flutuações que perturbam um sistema químico depende das reações químicas desse sistema. Em equilíbrio e perto dele, as leis termodinâmicas são gerais. Longe do equilíbrio, o sistema torna-se específico e dependente do mecanismo das transformações químicas. Não existe lei universal válida para cada valor das condições-limite, que descrevem o comportamento geral do sistema. Cada sistema constitui um problema singular, em que cada conjunto de reações químicas pode determinar um comportamento qualitativamente diferente⁸⁰.

Um outro desenvolvimento da termodinâmica dos processos irreversíveis encontra-se com o da biologia molecular. As reações não-lineares são raras no mundo inorgânico, mas a biologia molecular descobre que elas representam a regra dos sistemas vivos. O mecanismo pelo qual a biologia molecular explica a transmissão e exploração da informação genética baseia-se num mecanismo não-linear, uma alça de retroação. Surge uma convergência entre física e biologia, cuja evolução independente produz os diferentes conceitos necessários para compreender a maneira como o ser vivo se insere no mundo descrito pelas ciências físicas e químicas⁸¹.

⁷⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 156.

⁷⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 156.

⁸⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 157.

⁸¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 159-60.

Do ponto de vista da física, trata-se de uma exploração do “complexo”, de situações distanciadas das idéias e dos conceitos fundamentais da física clássica ou quântica. Assim, a termodinâmica descobre a possibilidade de estruturas complexas e organizadas longe do equilíbrio e opta pela singularidade desses novos estados da matéria, pela necessidade de conhecer o detalhe dos mecanismos químicos de um sistema e para descobrir os novos comportamentos suscetíveis de se manifestarem longe do equilíbrio. Do ponto de vista da biologia, trata-se de uma abertura para o simples, o molecular. A biologia molecular realiza a redução das estruturas vivas a seus componentes e explora a diversidade dos mecanismos químicos, de reações metabólicas em cadeia, das regulações, inibições e ativações da função catalítica das enzimas associadas às etapas cruciais de cada uma das cadeias metabólicas. A biologia molecular, assim, descobre a onipresença, no metabolismo, das reações *em alça*, dos mecanismos de autocatálise, de auto-inibição, do conjunto das reações não-lineares que constituem a condição de possibilidade da instabilidade química longe do equilíbrio⁸².

Outros processos biológicos podem ser estudados do ponto de vista da estabilidade. Por exemplo, a ativação e a inibição de mecanismos de transporte através das membranas, e a agregação das amebas. Este último processo é um caso interessante nas fronteiras entre a biologia dos unicelulares e a dos pluricelulares. Certas amebas sofrem uma transformação espetacular, quando o meio no qual vivem se torna pobre em matérias nutritivas. Partindo de uma população de células isoladas, elas se juntam numa massa composta por milhares de células. Essa massa diferencia-se mudando de forma, constituindo um caule que compreende cerca de um terço das células, aquelas que estão destinadas a desaparecer no decurso do processo. Esse caule sustenta uma massa redonda, de onde se disseminará uma nova população de esporos aptos a produzir uma

⁸² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 159-60.

colônia de amebas, se entrarem em contato com um meio nutritivo satisfatório. Trata-se de um caso espetacular de adaptação ao meio, por parte de uma população que vive em uma região até esgotá-la e depois se metamorfoseia de maneira a adquirir uma mobilidade que lhe permita invadir outros meios. O estudo da primeira fase do processo de agregação mostra que ele começa pela formação de movimentos pulsantes de mudança e de deslocamento das amebas para um centro atrator que parece surgir espontaneamente. Os fenômenos biológicos apresentam-se, portanto, como campo privilegiado para o estudo experimental das estruturas dissipativas⁸³.

Um desses modelos é estudado em Bruxelas, tendo sido denominado *Brusselator*⁸⁴ por um grupo americano. Como se sabe, longe do equilíbrio, a homogeneidade do tempo é duplamente destruída: pela estrutura espaço-temporal ativa, que fornece ao sistema um comportamento organizado, e também pela história que o aparecimento de tais estruturas implica. No caso do modelo do Brusselator sem difusão, essa história é reduzida à fatalidade: uma vez tornado instável, o sistema pode produzir uma flutuação cujo movimento atinge o ciclo limite. Mas as equações de difusão introduzem um elemento irreduzível de incerteza. Partindo de uma certa distância do equilíbrio, não uma, mas várias possibilidades se abrem ao sistema. Assim, o estado para o qual este evolui depende da natureza da flutuação que tira sua estabilidade e se amplifica até realizar um dos estados macroscópicos possíveis. Nestes estados, uma “escolha” é feita, porque a flutuação escapa ao controle das condições-limite. Isso

⁸³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 161-2.

⁸⁴ O Brusselator é um modelo proposto por Prigogine e seus colaboradores da Universidade Livre de Bruxelas. Este modelo tem propriedades que permitem modelar um grande número de comportamentos macroscópicos. Ele é um modelo teórico de reações de oscilação, estudado por químicos, físicos e matemáticos e possui a característica de fornecer uma análise numérica do comportamento de modelos teóricos de cinética química, a partir da qual foi possível compor estudos experimentais das estruturas dissipativas, que evidenciam uma variedade de fenômenos de organização. Disponível em <http://www.sci.wsu.edu/idea/OscilChem/> Acesso em maio de 2003. PRIGOGINE, 1980. p. 98; PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 162-6; PRIGOGINE e STENGERS, 1984. p.146-53.

traduz a diferença de escala entre o sistema como um todo e os processos elementares cuja multidão desordenada constitui a atividade desse todo⁸⁵.

No *Brusselator*, o sistema se comporta como um todo no ponto de bifurcação⁸⁶. Neste, as regiões separadas por distâncias macroscópicas estão em correlação, na qual as velocidades das reações regulam-se umas pelas outras, repercutindo em todo o sistema. Assim, o comportamento destas populações gera um estado paradoxal, no qual pequenas diferenças se propagam sem cessar, fazendo surgir um caos criador, tal como o evocam os antigos, um caos produtor de estruturas diferentes⁸⁷.

A bifurcação é o ponto crítico no qual um novo estado se torna possível. Este ponto é instável e uma perturbação *infinitesimal* determina um novo regime de funcionamento para o sistema. São exatamente esses pontos que Maxwell assinala quando fala sobre a relação entre o determinismo físico e as idéias de *escolha* e *decisão*.

O *Brusselator* comporta vários pontos de bifurcação, cujo número aumenta a cada vez que crescem os valores estabelecidos por um certo parâmetro. Na primeira bifurcação, a estabilidade do estado estacionário não é assegurada, pois qualquer flutuação retira o sistema do equilíbrio. Afastando-se do equilíbrio, surgem outras estruturas, fazendo a primeira tornar-se instável. Quando o sistema se afasta cada vez mais do equilíbrio, ocorre uma sucessão de instabilidades e flutuações ampliadas. Assim, percorre-se o diagrama das bifurcações, utilizando um caminho que constitui uma história. Neste caso, o determinismo das equações que permitem calcular a estabilidade e a instabilidade dos diferentes estado se associa ao acaso das flutuações que decidem para qual estado o sistema se dirige. Um outro parâmetro de bifurcações é

⁸⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 166-7.

⁸⁶ Matematicamente, um ponto de bifurcação representa uma dramática mudança da trajetória do sistema no espaço de fase. Um novo atrator pode aparecer subitamente, de modo que o comportamento do sistema como um todo se “bifurca”, ou se ramifica, numa nova direção. Os estudos de Prigogine a respeito desses pontos têm revelado algumas fascinantes propriedades das estruturas dissipativas.

a dimensão do sistema. Quando muito pequeno, ele é dominado pelo seu meio. Porém, ao crescer, o sistema pode explorar novas zonas de estabilidade e descobrir novos regimes de funcionamento⁸⁸.

As noções de *história*, de *estrutura* e de *atividade funcional* se impõem simultaneamente para descrever a *ordem por flutuação*, cuja fonte é constituída pelo não-equilíbrio. Assim, a definição de um estado que vai além do limite de instabilidade não se encontra mais fora do tempo. Ao contrário, o novo estado envolve um requisito temporal. A única explicação é histórica ou genética: é preciso descrever o caminho que constitui o passado do sistema, enumerar as bifurcações atravessadas e a sucessão das flutuações que decidem a história real entre todas as histórias possíveis⁸⁹. Estas flutuações possuem a coerência do sistema em conjunto. Assim, para além da primeira bifurcação, o sistema parece comportar-se como um todo, como se fosse a sede de um conjunto de forças de longo alcance. A população de moléculas se estrutura como se cada uma estivesse “informada” sobre o estado do conjunto do sistema⁹⁰. Surge um novo conceito, o de *estrutura dissipativa*, cuja teoria reconduz a uma concepção mais próxima da de Aristóteles, inspirada pela organização e solidariedade das funções biológicas, e que a ciência moderna abandona, substituindo-a pelo espaço homogêneo e isotrópico de Euclides. Nestas novas estruturas, a instabilidade quebra a simetria, tanto espacial quanto temporal. Quando surge uma direção privilegiada seguida de instabilidade, o espaço deixa de ser isótropo. Pode-se pensar que esta quebra de simetria do espaço e do tempo desempenha um papel importante nos fenômenos da morfogênese, para os quais é preciso encontrar uma finalidade interna, um projeto realizado pelo embrião, ao se tornar um organismo completo. O embriologista alemão

⁸⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 177.

⁸⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 167-8.

⁸⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 168-9.

Hans Driesch, no início deste século, atribui a uma “enteléquia”⁹¹ imaterial a responsabilidade pelo desenvolvimento embrionário, pois descobre que o embrião é capaz de resistir às perturbações mais fortes e chegar a um organismo normal e funcional. Mas o problema embriológico é complexo. Para solucioná-lo, os embriologistas introduzem o conceito de *campo morfogénético* e formulam a hipótese de que a diferenciação de uma célula depende de sua posição nesse campo⁹².

As perspectivas abertas pela descoberta das estruturas dissipativas permitem conceber uma ordem biológica que faz justiça à especificidade do fenómeno vivo, superando o conflito antigo entre reducionistas e anti-reducionistas⁹³. Desde Aristóteles se evidencia a necessidade de um pensamento sobre a organização complexa que seja distinto e articule os níveis de descrição, que estude a relação do todo com o comportamento das partes⁹⁴. Para Aristóteles, Hegel e Bergson, a causa da organização é a superioridade do todo, enquanto, para os reducionistas, a causa é somente uma parte⁹⁵.

Em biologia, a oposição entre anti-reducionistas e reducionistas é constituída muitas vezes pelo conflito entre os defensores de uma finalidade interna e os que admitem uma finalidade externa. À idéia de uma inteligência organizadora imanente opõe-se muitas vezes um modelo tecnológico de organização baseado na tecnologia da época – máquinas mecânicas, térmicas, cibernéticas – o que provoca a seguinte objeção: “quem” montou esta máquina regida pela finalidade externa?⁹⁶

⁹⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 169.

⁹¹ Para Hans Driesch, a enteléquia é o princípio da vida nos seres animados: um fator espiritual, irreduzível aos agentes físico-químicos. ABBAGNANO, 1982. p. 315-16.

⁹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 169-70.

⁹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 170.

⁹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 171.

⁹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 171.

⁹⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 171-2.

Os biólogos contemporâneos afirmam que a organização biológica só pode ser explicada pelo acúmulo das mutações favoráveis. Esta organização é compatível com as leis físicas, embora tenha a particularidade de ser improvável em relação a essas leis. Todavia, o dualismo mutação-seleção esconde a nossa ignorância profunda sobre a relação entre o “texto” genético, que é alterado pelas mutações, e a organização viva⁹⁷.

As qualidades de organizador, de regulador e de programa, atribuídas a moléculas individuais, representam outras expressões também tendenciosas. Atribuir a moléculas, por metáfora antropocêntrica ou tecnocêntrica, o poder de controlar, informar e regular, num nível macroscópico, é tomar o problema pela sua solução. A célula não é um circuito eletrônico, não pode ser assimilada a uma montagem em que cada comutador é efetivamente capaz de determinar o funcionamento global do sistema e pode ser responsável por esse funcionamento. Deste modo, o meio celular não tem o determinismo e a precisão dos aparelhos tecnológicos, pois ele é constituído por uma numerosa população de moléculas, cujo número de graus de liberdade é infinitamente mais elevado do que o apresentado pelo comportamento global que resulta da sua interação. Além disso, a coerência do comportamento aleatório da população das moléculas biológicas não pode ser deduzida da atividade reguladora das enzimas. Esta coerência põe o problema da passagem da descrição da atividade molecular à ordem supermolecular da célula⁹⁸. A simples denúncia do reducionismo corre o risco de limitar-se a repetir as críticas de Aristóteles contra os atomistas e a opor a idéia de que o todo é simplesmente dedutível do comportamento das partes, a velha noção de organização hierárquica. Em cada nível, emerge uma nova totalidade, a qual supõe as

⁹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 171-2.

⁹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 172.

partes mas as integra num comportamento de conjunto, regido por uma lógica que lhes é estranha e que elas não podem explicar⁹⁹.

2.3. Ordem por Flutuações

O que o desenvolvimento da física põe em questão é a generalidade do princípio de ordem de Boltzmann, para o qual os comportamentos individuais podem, em certas circunstâncias, desempenhar um papel decisivo. As flutuações desempenham este papel no estabelecimento de um regime macroscópico. Isto significa uma transformação profunda das relações entre os níveis microscópico e macroscópico, tais como são definidas pelo princípio de ordem de Boltzmann¹⁰⁰.

A lei dos grandes números desempenha um papel essencial em todos os domínios em que o comportamento de uma população precisa ser descrito. É esta lei, tal como a traduz o princípio de ordem de Boltzmann, que permite a descrição termodinâmica de sistemas complexos em termos de um número limitado de parâmetros, tais como a pressão, a temperatura e as concentrações. Não existe previsão física, social ou econômica possível se, ao invés de manter o caráter negligenciável que possuem pela lei dos grandes números, as flutuações no interior de populações numerosas pudessem a cada momento se amplificar até perturbarem um estado que não poderia mais ser chamado de médio¹⁰¹.

Como vimos, a lei dos grandes números, em sua formação boltzmanniana, permite a descrição termodinâmica de sistemas complexos em termos de um número

⁹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 173.

¹⁰⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 174.

¹⁰¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 175.

restrito de parâmetros. Entretanto, quando as estruturas dissipativas aparecem, é preciso que a lei dos grandes números seja violada, ou seja, é preciso que uma amplificação seja produzida a partir de uma flutuação inicialmente microscópica. Já citamos o caso das amebas que se condensam numa massa supercelular. Outro exemplo impressionante é a primeira etapa da construção de um cupinzeiro. Ela apresenta uma coerência, como se a comunidade de insetos possuísse uma “alma coletiva”. Os cupins só precisam de informação restrita para participarem da construção do cupinzeiro. A primeira etapa dessa atividade, isto é, a construção de pilares, pode ser gerada por uma multidão de comportamentos desordenados em que os cupins transportam e abandonam de maneira aleatória bolinhas de terra, impregnando-as de uma substância hormonal. Essa substância, por sua vez, tem a propriedade de atrair cupins. Neste caso, a flutuação inicial é simplesmente a acumulação ligeiramente mais forte de bolinhas de terra num ponto do espaço onde os térmitas se deslocam. A amplificação desse acontecimento, aleatório e previsível, é produzida pela maior densidade de térmitas na área onde eles são atraídos pelo hormônio em maior concentração. Quanto maior o número de cupins numa determinada área, tanto maior é a probabilidade de que depositem suas bolinhas ali. O cálculo permite prever a formação de “pilares”, separados por uma distância ligada àquela na qual o hormônio se difunde a partir das bolinhas¹⁰².

As cinéticas químicas não-lineares também podem conduzir a estruturas dissipativas. Essas estruturas são provenientes da amplificação de flutuações que pertencem inicialmente ao nível microscópico. Assim, próximo do equilíbrio, as leis das flutuações são universais, mas longe do equilíbrio, quando o sistema é a sede das reações que correspondem a uma cinética não-linear, o valor relativo da dispersão não obedece mais à fórmula geral. O destino das flutuações torna-se, então, específico, caso

¹⁰² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 175-6.

em que, na proximidade dos pontos de bifurcação, o sistema escolhe entre dois regimes de funcionamento e não está nem em um nem em outro. Aqui, as flutuações podem atingir a mesma ordem de grandeza que os valores macroscópicos médios. Mas a idéia mesma de uma descrição macroscópica, isto é, de uma descrição entre flutuação e leis médias, esta idéia desmorona, porque podem aparecer correlações entre acontecimentos normalmente independentes.

A flutuação não pode invadir de uma só vez o sistema inteiro. Ela deve estabelecer-se primeiro numa região. Se, com o passar do tempo, essa região inicial não for capaz de ultrapassar uma dimensão crítica, a flutuação desaparece. Se, porém, a região inicial se tornar maior que a dimensão crítica, a flutuação invadirá todo o sistema. Essa dimensão crítica depende, no caso das estruturas dissipativas químicas, das constantes cinéticas e dos coeficientes de difusão¹⁰³.

Os primeiros trabalhos a respeito do assunto permitem uma conclusão inesperada: quanto mais rápida é a comunicação dentro do sistema, tanto maior a proporção das flutuações insignificantes, incapazes de transformar o estado do sistema, tornando-o mais estável. Isto envolve a idéia de *tamanho crítico*, que resulta do fato de que o “mundo exterior”, o ambiente da região flutuante, tende sempre a amortecer uma flutuação. Esta é destruída ou amplificada segundo a eficácia da união entre as regiões. O tamanho crítico mede, assim, a relação entre o volume, onde ocorrem as reações, e a superfície de contato, lugar da união. Ele é determinado por uma competição entre o “poder de integração” do sistema e os mecanismos químicos que amplificam a flutuação no interior da sub-região flutuante¹⁰⁴.

Isto permite obter elementos para responder à questão dos limites para a complexidade, que é formulada a partir de modelos ecológicos. Quanto mais complexo

¹⁰³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 177.

é um sistema, maior é a possibilidade de certas flutuações se tornarem perigosas. É provável que, nos sistemas muito complexos – as organizações ecológicas ou humanas – em que as espécies ou os indivíduos interagem de maneira diversificada, a difusão, isto é, a comunicação entre todos os pontos do sistema seja muito rápida. Neste caso, o limiar de nucleação muito elevado das flutuações consideradas perigosas assegura certa estabilidade ao sistema, devido à rapidez da comunicação, que determinaria a complexidade máxima que a organização do sistema pode atingir sem ficar muito instável¹⁰⁵.

Como exemplo disso, Prigogine e Stengers citam a análise, feita por Tarde, do mexerico como determinante da estabilidade dos costumes em uma sociedade:

*... O mexerico é uma inquisição contínua e recíproca, uma vigilância e espionagem de todos por todos, a todas as horas do dia e da noite. Graças a ela, todas as paredes das casas são de vidro transparente... O que faz com que as grandes cidades, e sobretudo as capitais modernas, sejam foco de corrupção moral e degenerescência dos costumes ou das instituições nacionais é o fato de ali não se mexericar.*¹⁰⁶

De maneira quase irresistível, passamos do estudo da estabilidade dos sistemas físico-químicos às implicações do conceito de estabilidade para sistemas mais complexos (biológicos, ecológicos ou sociais)¹⁰⁷.

No caso dos sistemas biológicos ou ecológicos, é pouco realista a idéia de uma interação constante com o meio. A célula, como os “nichos” ecológicos, depende do seu meio ambiente. Mas este meio é variável, e os fluxos que mantêm o sistema longe do equilíbrio são flutuantes. A sensibilidade dos estados de não-equilíbrio confirma a idéia de que a estrutura dissipativa constitui a tradução singular dos fluxos que a nutrem.

¹⁰⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 178.

¹⁰⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 178-9.

¹⁰⁶ ... *Le potin est une inquisition continuelle et réciproque, un espionnage et une surveillance de tous par tous à toute heure du jour et de la nuit. Grâce à lui, tous les murs des maisons sont de verre transparent ... Ce que fait que les grandes villes, et surtout les capitales modernes sont des foyers de corruption morale et de dégénérescence des mœurs ou des institutions nationales, c'est qu'on n'y potine pas.* TARDE, G. *Écrits de psychologie Sociale*, choix de textes présentés par ROCHEBLAVE-SPENCE A. M. et MILET, J. – Toulouse: Privat, 1973. p. 191 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 179.

¹⁰⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 180.

Neste sentido, não há nenhum milagre em descobrir uma “organização adaptativa” do sistema em função de condições-limite, pois este é outro aspecto desta participação no meio no qual ele vive¹⁰⁸.

Os “mutantes” não introduzem relações verdadeiramente novas, mas apenas a possibilidade de explorar o nicho, de se reproduzir e sobreviver de uma maneira quantitativamente distinta¹⁰⁹. O problema reduz-se, assim, à exploração de um dado nicho, uma interpretação quantitativa da idéia darwiniana de “sobrevivência do mais apto”¹¹⁰. Contudo, muitas inovações ocorrem sem nicho prévio tanto em ecologia quanto nas sociedades humanas, transformando o meio onde aparecem e criando as condições de multiplicação de seu nicho, à medida que se amplificam¹¹¹.

As estruturas dissipativas, com suas noções de crise e de instabilidade, mostram que as repercussões que surgem na física não são independentes do interesse que elas criam na cultura contemporânea. O estudo dos estados de equilíbrio mecânico e termodinâmico, desde o final do século XIX, formam ecos em biologia e nas ciências sociais. A carga intelectual do conceito de *equilíbrio* vem não da ciência matemática dos Bernoulli, de d’Alembert, de Euler ou de Lagrange, mas das idéias de *ordem* e de *harmonia*, provenientes de áreas muito diferentes. São essas mesmas idéias que fornecem seu peso aos métodos físicos e matemáticos, quando eles finalmente penetram a biologia, a economia e a sociologia¹¹².

Mais recentemente, sabe-se da fecundidade da aplicação das matemáticas discretas e da teoria da informação. Esta última descobre um mundo encantado, decifra na natureza mensagens que circulam e fazem sentido: os modelos de “coevolução”, em

¹⁰⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 180.

¹⁰⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 182.

¹¹⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 184.

¹¹¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 184-5.

¹¹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 186-7.

que mensagens visuais ou químicas são emitidas, mas também desviadas de sua significação, captadas por receptores ou emissores piratas. Os trabalhos sobre o câncer e sobre a imunologia, em que se descobrem complexos conjuntos de comunicações intercelulares, mostram que as teorias da comunicação estão ainda em seus inícios¹¹³.

As ciências sociais não esperam pela física para auxiliá-las. Elas descrevem seus próprios processos. O estruturalismo, por exemplo, que se qualifica muitas vezes de *estático*, nos últimos capítulos do “*Curso de Linguística Geral*”, de Saussure, descreve a propagação das “ondas linguísticas” como submetidas a duas forças: o “intercurso”, que cria as comunicações, e o “espírito de campanário”, que mantém as particularidades locais. Do mesmo modo, as meditações de Lévi-Strauss sobre a dinâmica do Ocidente em relação com outras culturas recorrem como que naturalmente a conceitos que fazem paralelo com os das ciências da natureza. Assim, o processo de industrialização é caracterizado como auto-acelerado (reações em cadeia), criador de diferenciações internas (rupturas de simetria), e aberto para os outros sistemas que alimentaram alguns dos seus circuitos, se tornando, com isto, irreversivelmente modificados¹¹⁴.

Contudo, muitas questões permanecem sem resposta, em particular a da descrição de uma evolução que torne mais “mecânica” uma população de acontecimentos. Como a seleção da informação genética, por exemplo, que determina as velocidades e as regulagens das reações metabólicas, como privilegia ela certos caminhos a ponto de o desenvolvimento parecer finalizado ou surgir como tradução de uma mensagem? Para solucionar problemas deste tipo, serão necessárias distinções capazes de nos fazer entender problemas de organização, notadamente de situações em

¹¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 187-8.

¹¹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 188.

que se conjuguem o estatístico e o mecânico, ou seja, nas quais coexistam as interações locais e a informação global¹¹⁵.

Outro aspecto da ordem por flutuação conduz ao estudo do acaso e da necessidade, entre inovação provocada e resposta do sistema. Isto leva também a distinguir entre os estados do sistema em que toda iniciativa individual está fadada ao fracasso e as zonas de bifurcação em que um comportamento individual pode perturbar o estado médio. Os comportamentos considerados “perigosos” são aqueles que se aproveitam das relações não-lineares que asseguram a estabilidade do estado médio. Nos modelos simples, estas não-linearidades fazem surgir uma ordem do caos. Mas podem eventualmente determinar uma destruição dessa mesma ordem, promovendo o surgimento de uma nova bifurcação¹¹⁶.

O conceito de *ordem por flutuação* não supõe a distinção entre *funcional* e *disfuncional*, podendo apresentar, em certo momento, um desvio como insignificante e, em outra circunstância, apresentá-lo como fonte de crise e de renovação. Assim, aquilo que os modelos de ordem por flutuação ensinam é que toda norma resulta de uma escolha, que contém um elemento de acaso, mas não de arbitrário. Deste modo, fica evidente que uma organização, ou um regime de funcionamento, embora não seja dedutível de uma lei geral, deriva de um cálculo no seio duma natureza em que processos macroscópicos estáveis são gerados por uma multidão de processos desordenados¹¹⁷.

Neste contexto, “*acaso*” e “*necessidade*” conduzem ao domínio da evolução biológica. Jacques Monod¹¹⁸ é um dos expoentes que apresenta os diferentes valores em

¹¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 190.

¹¹⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 190.

¹¹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 190-1.

¹¹⁸ MONOD, J. Le Hasard et la nécessité – Paris: Seuil, 1970. pp. 194-5 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 191.

jogo, partido dos progressos da biologia molecular. Para Monod, o homem se encontra só no Universo e tem consciência que é fruto do acaso. Desta maneira, a velha aliança se rompe e o homem toma consciência de sua solidão. Porém, o relato de Monod evidencia o paradoxo de um êxito brilhante e que se encerra com uma nota trágica. A biologia molecular decodifica o texto genético, que guarda o segredo da vida. Ela obtém um tipo de sucesso que confirma o significado que é atribuído à produção científica: a tentativa de diálogo com a natureza, de aprender sobre a vida e a sua participação na evolução. Mesmo assim, ela nos torna seres sozinhos no mundo, ciganos nas margens do Universo.¹¹⁹

O acaso é visto, então, como o milagre estatístico do aparecimento do código genético e da sucessão das mutações favoráveis. É oposto à legalidade natural, arrancando o ser vivo da ordem natural inanimada e fazendo dele um morto adiado às margens de um Universo no qual ele representa apenas uma particularidade arbitrária. Assim,

*... a evolução biológica e, portanto, o homem dela saído, são produto do acaso e da necessidade: acaso das mutações, necessidade das leis físicas e das leis estatísticas da seleção natural.*¹²⁰

Este fato retoma a descoberta de Darwin, aquela que fala da influência de certos acontecimentos improváveis, como o aparecimento de uma linhagem melhor adaptada ao seu meio¹²¹. A biologia contemporânea constitui, deste modo, a expressão última da ciência clássica, porque parece justificar o biólogo que afirma ser a decomposição da complexidade em seus constituintes simples suficiente para enunciar uma teoria positiva da organização biológica e de suas transformações. Assim, as leis comuns da matéria, as leis universais que descrevem os comportamentos simples bastam em princípio para

¹¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 10.

¹²⁰ ... *l'évolution biologique, et donc l'homme issu de cette évolution, sont le produit du hasard et de la nécessité, hasard des mutations, nécessité des lois physiques et des lois statistiques de la sélection naturelle.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 191.

esgotar o que é preciso para compreender o ser vivo. Nesta perspectiva, o biólogo reencontra o homem e todo o mundo vivo na mesma posição de extraterritorialidade a que a ciência clássica o deixa reduzido. *O acaso e a necessidade* de Monod pode ser interpretado como definindo a situação da biologia no contexto da física clássica, contexto no qual se opõem a particularidade das condições iniciais e a universalidade determinista das leis da evolução. A única lei de evolução macroscópica previsível e reprodutível é a evolução para o equilíbrio e o desaparecimento de toda a atividade global. A biologia está na mesma posição que o vitalismo de Stahl. O que as leis da matéria permitem compreender não é a vida, mas a morte, não a organização viva, mas a decomposição dessa organização instável, a corrupção e a putrefação. Onde Stahl reconhece atividade organizadora de uma alma, a biologia molecular decifra a expressão do texto genético¹²².

No contexto da física dos processos irreversíveis, os resultados da biologia têm significados e implicações muito diferentes. É certo que as únicas leis macroscópicas universais são aquelas que descrevem a evolução para a desordem, para os estados de equilíbrio ou estacionários próximos dele. Mas essas leis físicas não constituem o contexto em relação ao qual o ser vivo é definido. O ser vivo funciona longe do equilíbrio, num domínio em que os processos produtores de entropia, que dissipam energia, desempenham um papel construtivo e são fontes de ordem. Nesse domínio, a idéia de *lei universal* cede lugar à de *exploração de estabilidades* e de *instabilidades singulares*. A oposição entre o acaso das configurações iniciais particulares e a generalidade previsível da evolução que elas determinam dá lugar à coexistência de

¹²¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 191.

¹²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 192.

regiões de bifurcação e regiões de estabilidade, à dialética das flutuações incontroláveis e das leis médias deterministas¹²³.

A alternativa estabelecida por Monod, entre um mundo animista que espera pelo aparecimento do homem e um mundo silencioso onde o homem é um estranho, é desnecessária. Em sua singularidade, o homem não é nem chamado nem esperado pelo mundo. Se a vida é assimilada a um fenômeno de auto-organização, de matéria evoluindo para estados cada vez mais complexos, então, em circunstâncias bem determinadas, esta vida é previsível no Universo, ela constitui um fenômeno tão “natural” quanto a queda dos corpos¹²⁴.

Estamos longe de poder dar uma resposta aos problemas levantados pela concepção do ser vivo como sistema auto-organizado mantido fora do equilíbrio. Assim, a biologia molecular remonta a explicação da origem da vida às proteínas e ácidos nucleicos. Essa associação e o próprio código genético devem ser compreendidos no contexto de uma organização espaço-temporal global? A conservação fora do equilíbrio é uma questão essencial no que concerne à origem da vida. Mas, no que concerne ao ser vivo produto de uma longa evolução, é preciso distinguir cuidadosamente os “pontos quentes” (regimes de transformações metabólicas rápidas e interações celulares intensas) dos “estoques” mantidos perto do equilíbrio e das estruturas cristalinas mortas¹²⁵. O ser vivo não está por toda a parte igualmente vivo. Dizer que ele funciona longe do equilíbrio é no mínimo insuficiente. O maior problema não é reduzir o ser vivo a uma descrição única, mas aprender a descrever a “economia política” dos processos naturais, aprender como a energia, a matéria e as informações são armazenadas, transformadas e distribuídas. E temos razões para pensar que a

¹²³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 193.

¹²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 193.

¹²⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 194.

economia política da natureza está muito afastada dos modelos de divisão do trabalho e de gestão harmoniosa e centralizada, aos quais a idéia de *organismo* está associada¹²⁶.

No fim do século XIX, a irreversibilidade é associada aos fenômenos de fricção, de viscosidade, de aquecimento. Ela se encontra na origem das perdas e do esbanjamento de energia contra os quais os engenheiros lutam. A ficção poderia ser mantida se a natureza fosse reversível e se o problema estivesse na imperfeição de nossas máquinas. Mas esta ficção se revela insustentável, porque os processos irreversíveis desempenham um papel construtivo. Eles são considerados os processos da natureza complexa e ativa. A própria vida só é possível enquanto mantida longe do equilíbrio pelos fluxos incessantes que a alimentam. O grande desafio passa a ser ultrapassar o abismo que separa o tempo dos processos complexos e o tempo reduzido à identidade da lei. É preciso articular a ciência do devir e a ciência do ser¹²⁷.

¹²⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 193.

¹²⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 194-5.

3. Do Ser ao Devir

Este capítulo aborda a relação entre duas ciências diferentes num só mundo, segundo Prigogine e Stengers. Eles pretendem mostrar a abertura e as múltiplas opções que manifestam a necessidade de uma reflexão mais completa sobre a ciência e a sociedade. Para tanto, tratam da renovação conceitual e técnica da física no século XX, ou seja, da relatividade e da mecânica quântica, com suas noções de *operadores* e de *complementaridade*¹. O objetivo é mostrar a relação existente entre questões culturais e a evolução conceitual da ciência dentro da cultura, bem como realçar a criatividade científica, as perspectivas e os problemas que surgem dela².

De acordo com Prigogine e Stengers, a renovação da física conduz a dinâmica clássica a um abismo intransponível³. As ilusões clássicas ficam excluídas, pois não se pode mais afirmar que o único fim digno da ciência se traduz pela descoberta do mundo desde um ponto de vista exterior, ao qual só os chamados “demônios” têm acesso. Deste ponto em diante, as teorias mais fundamentais são definidas como obra de seres inseridos no mundo que exploram.

Desde o surgimento da mecânica quântica, a idéia de simplicidade microscópica é insustentável, pois o acesso aos átomos e moléculas é feito por

¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 22.

² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 20.

³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 23.

instrumentos macroscópicos e as teorias formuladas a seu respeito são determinadas por essa mediação. Neste contexto, o saber tem apenas um alcance negativo. Não é isto que acontece hoje. Com a irreversibilidade, a natureza desempenha um papel construtivo, porque permite processos de organização espontânea. A ciência dos processos irreversíveis fez renascer a concepção de uma natureza física criadora de estruturas ativas. Num mundo aleatório como este, a reversibilidade e o determinismo se tornam casos particulares. Aqui, a irreversibilidade e a indeterminação são a regra. Assim, desde as primeiras teorias mecânicas até relatividade e a mecânica quântica, tempo, espaço e movimento estão ligados de tal modo que quase se confundem. Hoje, assistimos a uma verdadeira redescoberta do tempo físico, que resulta não da lógica interna das teorias científicas, mas de questões que foi preciso decidir que deveriam ser colocadas para uma física que visa compreender a natureza⁴.

A mecânica quântica, teoria dos estados microscópicos, propõe problemas novos que a dinâmica ignora. Mas ela conserva alguns conceitos da dinâmica, principalmente ligados ao tempo e ao devir. As teorias mais recentes que vêm sendo expostas aqui se aplicam tanto à dinâmica clássica quanto à mecânica quântica⁵.

3.1. O Choque das Doutrinas

Dois mundos que parecem não ter nada em comum se defrontam: o da dinâmica e o da termodinâmica. O universo da dinâmica clássica descreve as transformações

⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 20.

⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 20.

redutíveis ao movimento da matéria no espaço. Esse movimento pode ser descrito em termos de trajetórias. Esta é a verdade dinâmica do mundo⁶.

Porém, a dinâmica clássica é o ponto de partida, ou seja, as leis dinâmicas reversíveis são a referência da matematização da natureza. O mundo das trajetórias reversíveis é uma referência conceitual e técnica importante para descrever a instabilidade e, conseqüentemente, a irreversibilidade.

*O mundo legal das trajetórias reversíveis permanece ... no cerne da nossa física e constitui uma referência conceitual e técnica necessária para definir e descrever o domínio onde a instabilidade permite introduzir a irreversibilidade, quer dizer, uma ruptura da simetria das equações em relação ao tempo.*⁷

Mas o mundo reversível torna-se agora um caso particular e a dinâmica, equipada com o operador entropia que permite descrever o mundo complexo dos processos, se acha colocada como ponto de partida. A entropia pode gerar estados de equilíbrio, mas também a singularidade das estruturas dissipativas, que surgem de um desvio na evolução para o equilíbrio, e a história, que constitui um caminho evolutivo singular, gerado pelas sucessivas bifurcações. Uma estrutura formada por tal evolução possui uma atividade que é o produto de sua história e contém a distinção entre passado e futuro⁸.

A irreversibilidade, oposta à reversibilidade da dinâmica clássica, fornece dois estilos de devir:

1. um, suspenso no passado, caminha provavelmente para o equilíbrio;

⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 199.

⁷ *Le monde légal des trajectoires réversibles reste donc au coeur de notre physique; il constitue une référence conceptuelle et technique nécessaire pour définir et décrire le domaine où l'instabilité permet d'introduire l'irréversibilité, c'est-à-dire une rupture de la symétrie des équations par rapport au temps.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 279.

⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 279.

2. outro, aberto a um futuro histórico, é o das estruturas dissipativas, que promovem a possibilidade de singularidades aleatórias⁹.

Definir uma trajetória significa conhecer a lei geral e a descrição do estado instantâneo do sistema. A lei dinâmica é reversível porque passado e futuro têm o mesmo papel. Cada estado pode ser um estado inicial ou um estado em evolução. Este é o significado que Bergson atribui à mecânica clássica, ou seja, *...a cada instante, tudo é dado, a mudança não é mais que o desenvolvimento de uma sucessão de estados fundamentalmente equivalentes*¹⁰. Porém, em certos casos, *a idéia de determinação das condições iniciais da trajetória não é mais compatível com as implicações da lei dinâmica*¹¹.

A idealização newtoniana, aplicada a um grande número de interações e de graus de liberdade, torna o cálculo difícil¹². As leis da termodinâmica são gerais quando o sistema se encontra perto do equilíbrio. Longe do equilíbrio, surgem comportamentos que dependem das transformações dissipativas e das bifurcações. O determinismo desaparece para dar lugar à dialética entre acaso e necessidade. A ordem por flutuações fornece então, um universo aberto, inovador, criador, mas também destruidor¹³.

Clausius e Maxwell reintroduzem a noção de *colisão* e com ela a possibilidade duma descrição. As colisões se tornam acontecimentos discretos dos quais se pode calcular a média. Maxwell se pergunta se existe um estado físico tal que as colisões entre moléculas não façam mais evoluir a distribuição das velocidades. E demonstra que tal estado é de equilíbrio termodinâmico, sendo atingido quando a distribuição de

⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 279.

¹⁰ *... en chaque instant, tout est donné, le changement n'est que déploiement d'une suite d'états fondamentalement équivalents.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 200.

¹¹ *... l'idée de détermination des conditions initiales de la trajectoire n'est plus compatible avec les implications de la loi dynamique.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 200.

¹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 200.

velocidades corresponde à *curva em sino*, que, nos trabalhos de Laplace, Gauss e Quételet, aparece como uma expressão do acaso¹⁴.

Boltzmann quer descrever não só o estado de equilíbrio, mas a evolução em direção ao equilíbrio, para a distribuição maxwelliana. Segundo ele, levantar a questão da evolução física das moléculas, descrita por uma função de distribuição, é realizar, em física, o que Darwin realizou em biologia: a evolução biológica, a seleção natural, não pode ser definida a partir de um indivíduo, mas sim de uma população. Aqui também se faz o uso de um conceito estatístico¹⁵.

Do ponto de vista conceitual, a distinção entre fenômenos reversíveis e irreversíveis está na base da segunda lei e é transposta para o nível microscópico. Assim, o progresso realizado por Boltzmann se torna um passo decisivo na criação de uma física dos processos e seu alcance é comparável ao da dinâmica¹⁶.

Poincaré faz uma objeção relativa à simetria da equação de Boltzmann. Para ele, um raciocínio correto não conduz a uma conclusão contraditória com as premissas. Mas as propriedades de simetria da equação de Boltzmann contradizem as da dinâmica. Assim, Boltzmann não deduz a entropia da dinâmica, mas introduz um elemento estranho à dinâmica. Seu resultado é um modelo fenomenológico, sem relação direta com a dinâmica¹⁷. Para Poincaré, não é possível construir uma função com as propriedades da entropia. Segundo ele, a única alternativa é o cálculo das probabilidades¹⁸.

¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 200-1.

¹⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 201.

¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 202.

¹⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 204-5.

¹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 205.

¹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 205-6.

Loschmidt também faz uma objeção a Boltzmann. Para ele, o modelo cinético de Boltzmann não é válido para a inversão das velocidades. Do ponto de vista da dinâmica, as colisões a partir das velocidades invertidas, “desfarão” o que foi feito e o sistema retornará ao estado inicial. A inversão das velocidades conduz a uma evolução antitermodinâmica. Assim, o sucesso do modelo de Boltzmann se torna parcial, deixando de valer para todos os casos. A limitação deste modelo está numa hipótese estatística que permite avaliar, a partir do número médio de colisões, o “caos molecular”. Nesse modelo, as moléculas têm, antes da colisão, comportamentos independentes uns dos outros, o que significa a não-existência de uma correlação entre suas respectivas velocidades. Porém, a inversão das velocidades provocadas pela colisão cria uma situação anormal. Ela estabelece correlações entre as moléculas, que deixam de ser independentes. Neste caso, a hipótese do caos molecular não funciona para um sistema que sofre a operação de inversão das velocidades¹⁹.

A inversão das velocidades cria um sistema altamente organizado. O efeito das colisões produz uma evolução global “antitermodinâmica” que coloca em questão a formulação do segundo princípio, pois agora uma diferença de temperatura pode ser produzida “espontaneamente”. Assim, surgem circunstâncias em que *um processo irreversível poderia tornar-se reversível, até mesmo anular um processo irreversível que se produziu no passado*²⁰. O princípio passa a ter alcance limitado. Esta conclusão não pode ser eliminada a priori. Hoje em dia não sabemos se o segundo princípio é universalmente válido, ainda não podemos dizer com certeza se a entropia do universo está aumentando ou se é apenas a entropia de nossa galáxia que cresce. Mas, para forças de curto alcance como as interações moleculares, não temos nenhum motivo para

¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 206-7.

duvidar do segundo princípio. Devemos então tentar precisar o argumento de Boltzmann, eliminando a parte “fenomenológica”. Como não existe irreversibilidade no nível de uma trajetória, é preciso tentar uma síntese mais satisfatória. Este é o objeto da teoria dos conjuntos de Gibbs e Einstein, cujo objetivo é fazer uma descrição dinâmica de um sistema macroscópico, que independa das condições iniciais²¹. Esta teoria representa o sistema dinâmico no espaço de fases. O estado instantâneo de um sistema com n partículas pode ser representado no espaço de 3 dimensões por n pontos e n vetores. Mas ele pode também ser representado por *um único ponto* num espaço de 6 dimensões. A evolução do sistema no tempo será então descrita por uma trajetória neste espaço, chamado *espaço de fase*. A cada sistema dinâmico corresponde um espaço de fases, de tal modo que cada estado do sistema é representado por um só ponto. O fato de não serem conhecidas as condições iniciais em um sistema macroscópico não impede que as façamos corresponder a um conjunto de pontos representativos. Estes, por sua vez, correspondem aos estados dinâmicos compatíveis com a informação disponível sobre o sistema. Assim, cada região do espaço de fases é preenchida com pontos representativos. Eles se tornam mais numerosos quanto maior for a probabilidade de encontrar o sistema no estado correspondente. Deste modo, a teoria dos conjuntos de Gibbs introduz uma densidade contínua de pontos representativos no espaço de fases, a qual mede a probabilidade de encontrar um sistema dinâmico em torno de um ponto neste espaço. A função densidade pode aparecer, assim, como um artifício, contrariamente às trajetórias, que parecem “naturais”. Mas é a trajetória que constitui uma idealização. Sem conhecer as condições iniciais com a precisão que as reduza a um ponto único no espaço de fases, é impossível calcular uma trajetória única a partir dele.

²⁰ ... *un processus irréversible pourrait devenir réversible, voire même annuler un processus irréversible qui s'est produit dans le passé.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 207.

Só podemos calcular um conjunto de trajetórias a partir do conjunto dos pontos representativos do sistema no instante inicial. A função densidade representa o conhecimento que temos do sistema e o volume do espaço de fases onde esta densidade é diferente de zero, ou seja, onde a probabilidade de encontrar o sistema é não-nula²². Quando a densidade não é nula em nenhuma região do espaço, possuindo um valor uniforme por toda parte, nosso conhecimento é “mínimo”. Nesta perspectiva, a trajetória representa, ao contrário, o conhecimento “máximo” do sistema. A partir do momento que aumenta a precisão das medidas, passa-se de uma região no espaço de fases, onde a densidade é não-nula, a uma região menor, no interior da primeira, e assim sucessivamente, até que a região em que o sistema pode ser encontrado tenda a desaparecer. Mas passar de uma região muito pequena a um ponto só é possível por idealização. O fato de que a idealização da passagem ao limite não seja sempre possível constitui a base da renovação contemporânea da dinâmica. A função densidade substitui a função de distribuição das velocidades. Tal como esta última, a função densidade determina a distinção das velocidades. Além disso, porém, ela nos dá a probabilidade de encontrar duas partículas a uma certa distância e, sendo assim, ela nos dá uma correlação entre estas partículas. As equações de Hamilton permitem obter uma equação de evolução para a função densidade sem introduzir uma aproximação estatística²³.

A teoria dos conjuntos de Gibbs permite combinar a visão estatística com as leis da dinâmica. Ela permite uma representação mais precisa do estado de equilíbrio termodinâmico. Esta teoria introduz um elemento suplementar em relação à dinâmica, qual seja, a ignorância das condições iniciais. Resta saber se esta ignorância é suficiente para conduzir à idéia de irreversibilidade. Ligar a irreversibilidade ao conhecimento, ao

²¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 207.

²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 208-9.

invés de fazer dela uma propriedade física, constitui a interpretação subjetiva do segundo princípio, que deve ser discutida.²⁴

Para Gibbs, é preciso abandonar a esperança de encontrar uma solução “objetiva” para os problemas da irreversibilidade. Temos que nos conformar com uma interpretação subjetivista que se funda sobre o conhecimento e a ignorância do observador²⁵. Nessa interpretação, o crescimento da entropia descreve somente o conhecimento que se pode obter do sistema e não a descrição do próprio sistema. No instante inicial, é possível obter muitas informações sobre o sistema e localizá-lo precisamente numa região muito pequena do espaço de fases. À medida que o tempo passa, os pontos compatíveis com as condições iniciais podem originar trajetórias cada vez mais distantes do ponto de partida e a informação inicial se perde irreversivelmente. Assim, o sistema chega ao equilíbrio e pode encontrar-se em qualquer ponto da superfície microcanônica. O crescimento da entropia representa, deste modo, a degradação da informação disponível. O sistema está tanto mais distante do equilíbrio quanto melhor é conhecido e quanto maior for a precisão em defini-lo e situá-lo numa região cada vez menor do espaço de fases²⁶. A interpretação subjetivista da irreversibilidade como aumento da ignorância faz do observador o responsável pela assimetria temporal que caracteriza o devir do sistema. O observador não pode abranger de um só golpe as posições e as velocidades das partículas de um sistema complexo. Por isso, ele não tem acesso à verdade fundamental desse sistema e não pode conhecer seu estado instantâneo, nem também seu passado e futuro. Ele não pode apreender a lei

²³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 209.

²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 209-10.

²⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 211.

²⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 212.

reversível que fornece sua evolução e não pode manipular o sistema do mesmo modo que o demônio²⁷ de Maxwell²⁸.

A termodinâmica é a ciência dos sistemas complexos. Porém, na interpretação subjetivista, a única especificidade dos sistemas complexos consiste no fato de que o conhecimento deles é aproximado e que a incerteza determinada por essa aproximação cresce com o tempo. O observador deve admitir que a natureza se limita a fornecer-lhe a imagem do crescimento da sua própria ignorância.

Isto, entretanto, permite objetar que a termodinâmica deve ser tão universal quanto a nossa ignorância a respeito da natureza. Mas, como a irreversibilidade não é uma propriedade universal, a articulação da dinâmica com a termodinâmica exige o estabelecimento de um critério físico de diferenciação entre sistemas. Precisamos de uma definição da complexidade em termos físicos e não em termos de ausência de conhecimento. A interpretação subjetivista consegue convencer porque o crescimento irreversível da entropia está vinculado à idéia de manipulação imperfeita, de falta de controle de certas operações reversíveis, à preocupação com o desperdício e com a perda de rendimento resultantes²⁹.

A interpretação subjetivista se torna absurda quando abandonamos as associações imaginárias determinadas pelas preocupações tecnológicas citadas acima e quando restituímos o contexto que conferirá ao segundo princípio sua significação de *flecha do tempo* no seio da natureza³⁰. À medida que os fenômenos de organização baseados na irreversibilidade possuem um papel determinante na biologia, é impossível

²⁷ O demônio de Maxwell é um ser hipotético que pode separar as partículas rápidas das lentas e impor uma evolução antitermodinâmica ao sistema através de uma progressiva distribuição menos uniforme da temperatura. PRIGOGINE e STENGERS, 1984. p. 239.

²⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 212.

²⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 212-3.

³⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 213.

fazer deles simples aparências associadas à nossa ignorância. A evolução recente das teorias da termodinâmica contribui para aumentar o choque entre esta e a dinâmica. Portanto, a pretensão da dinâmica em reduzi-la a um conhecimento aproximado é impossível a partir do momento em que se revela o papel construtivo da entropia. Mas é também impossível negar a dinâmica em nome da irreversibilidade. Tanto o movimento dos planetas é conservativo quanto a oscilação do movimento do pêndulo se aproxima do movimento eterno previsto pela dinâmica, num mundo sem atrito. Este contexto apresenta dois mundos em conflito, um das trajetórias e outro dos processos. Não é possível negar um para afirmar o outro³¹.

Esta situação é análoga à do materialismo dialético. A descoberta do papel construtivo da entropia impôs às ciências da natureza a constatação de que compreender a natureza é compreendê-la capaz de produzir os seres humanos e suas sociedades. Descrevemos uma natureza que se poderia chamar “histórica”, mas a idéia de uma história da natureza foi afirmada por Marx e detalhada por Engels. Na *Dialética da Natureza*, Engels cita três descobertas fundamentais: a das leis da conservação da energia, a da célula e a da evolução das espécies. A partir da renovação da ciência, proporcionada por estas descobertas, Engels conclui que o mecanicismo está morto e afirma que nada pode se opor à pesquisa das leis do desenvolvimento histórico, isto é, das leis da dialética³².

Desde as descobertas das ciências no século XIX, as interpretações subjetivistas da entropia constituem uma espécie de confirmação de que o mecanicismo implica um idealismo mais ou menos confessado³³. A grande dificuldade do materialismo dialético consiste em estabelecer relações entre as leis gerais da dialética e as leis universais do

³¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 213-14.

³² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 215.

movimento, em articular o mundo dos processos com o das trajetórias. Entretanto, a questão não está na articulação de dois tipos de leis universais, mas nos limites das leis universais. A diferença entre dinâmica e termodinâmica, ao fim do século XIX, não mais constitui um “oceano”, tendo-se retraído às dimensões de um “rio”. Ela é bastante grande ainda para ser ignorada, mas suficientemente pequena para que se possa construir uma ponte que faça a travessia. Esta ponte está entre a ciência do “ser” e a do “devir”. É esta ponte que temos de descobrir³⁴.

3.2. A Renovação da Ciência Contemporânea

As sínteses da ciência newtoniana e da termodinâmica são diferentes e levam a uma história das ciências cheia de surpresas, fazendo convergir categorias científicas e não científicas. O meio sucesso de Boltzmann e o ceticismo de Poincaré mostram que é preciso uma nova síntese destas duas sínteses para formular uma concepção coerente da natureza. Esta síntese, que está se fazendo nos dias de hoje, contribui para o abandono das idéias newtonianas de *universalidade*, *determinismo*, *fechamento objetivo* e de *objetividade*³⁵.

O projeto da antiguidade clássica consiste em encontrar a estabilidade como verdade da mudança. A matéria aí encontra sua simplicidade, a dos átomos indivisíveis que, para os antigos, constituem as letras indestrutíveis que compõem o texto do mundo. Mas, onde a ciência clássica sublinha a permanência, agora existe mudança e evolução, partículas elementares que se transformam, colidem, se decompõem e nascem, quasares,

³³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 215.

³⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 215-16.

³⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 217.

pulsares, galáxias que explodem e se despedaçam, estrelas que se transformam em buracos negros e absorvem tudo³⁶.

Porém, do ponto de vista teórico, o que se busca é uma lei universal que substitua a de Newton e leve em consideração novas interações, uma teoria unitária, uma fórmula da qual se possa deduzir o conjunto das leis físicas. A idéia da simplicidade do nível microscópico, que essa busca supõe, não pode ser levada a sério, pois os únicos objetos cujo comportamento pode ser simples pertencem ao mundo macroscópico, ou seja, os planetas, os corpos em queda e os pêndulos³⁷.

No começo do século passado, vários físicos abandonam o determinismo como saída para o paradoxo de Loschmidt, isto é, o paradoxo da inversão das velocidades e do decréscimo da entropia. Brillouin tenta destruir o determinismo, afirmando que a verdade de uma previsão exata exige um conhecimento preciso das condições iniciais. Esta predição exata do determinismo exige um preço impossível de ser pago, sendo, por isso, absurda³⁸. Contudo, as objeções feitas à dinâmica possuem um defeito importante: elas não constituem a promessa de um novo diálogo, uma nova descoberta, um novo campo de exploração. Este papel é desempenhado pelas demonstrações de impossibilidade. A constatação de que nenhuma máquina térmica terá rendimento de valor superior a 1 exclui a possibilidade de algo que se julgava realizável. Mas constitui também a abertura de um ponto de vista novo sobre o mundo. O século XX viveu duas demonstrações de impossibilidade física, aquela que funda a relatividade e aquela que funda a mecânica quântica. Mas estas duas revoluções científicas do século XX devem ser vistas como ponto de partida de abertura a novas possibilidades teóricas³⁹.

³⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 217-18.

³⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 218-9.

³⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 219-20.

³⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 220-1.

A idéia de uma descrição científica coerente com a definição dos meios acessíveis a um observador pertencente a este mundo é uma das idéias fundamentais da relatividade. É a propósito da propagação dos sinais que ela descobriu um limite a que está submetido todo observador pertencente ao mundo físico. A velocidade da luz no vácuo ($c=300\ 000\text{ km/s}$) surge como uma velocidade-limite de propagação dos sinais e desempenha igualmente o papel de constante universal da natureza⁴⁰.

Na física newtoniana, a teoria geral aplica-se da mesma maneira, qualquer que seja a escala de seus objetos. Os movimento dos átomos, dos planetas e das estrelas são regidos por uma lei idêntica. No momento em que a relatividade faz a síntese da dinâmica com o campo eletromagnético, ela estabelece uma distinção entre velocidades pequenas e aquelas comparáveis à da luz. O comportamento dos objetos físicos se torna diferenciado conforme sua velocidade se aproxima daquela da luz. Da mesma forma, a constante de Planck determina uma escala natural que distribui as massas dos objetos⁴¹.

As constantes universais conduzem a uma nova concepção de objetividade na física. Assim, um ser submetido às leis físicas não pode transmitir sinais a uma velocidade superior à da luz no vácuo. Daí, não se pode mais falar de simultaneidade absoluta entre dois acontecimentos distantes, pois a simultaneidade só pode ser definida relativamente a um referencial em repouso. A relatividade torna-se, então, uma física *humana*. Isto não quer dizer que ela seja uma física subjetiva, produto de preferências e convicções, mas sim que é uma física submetida às coerções intrínsecas que nos identificam como pertencentes ao mundo físico que descrevemos. A relatividade modifica o conceito de *objetividade física*, mas mantém firme a idéia de obter a

⁴⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 220.

⁴¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 221. Grosso modo, pode-se dizer que a constante de Planck determina uma fronteira entre os níveis de descrição macroscópico e microscópico, ou seja, diferencia o universo macroscópico do universo microscópico.

descrição completa da natureza, característica da física clássica. A relatividade ainda se situa no prolongamento da física clássica, enquanto deduz matematicamente os pontos de vista acerca do mundo, a totalidade dos fenômenos da natureza tais como são observáveis de cada referencial⁴².

Surge então a mecânica quântica, primeira teoria física que abandona a referência a um ponto fixo divino. Ela localiza os seres humanos na natureza e identifica-os com corpos “pesados”, constituídos por um número macroscópico de átomos⁴³. A mecânica quântica introduz as chamadas “propriedades ondulatórias” que exprimem um caráter coletivo para os movimentos, o qual é desconhecido na mecânica clássica. A história da mecânica quântica é a de uma lógica cujas implicações são descobertas após tal lógica ser produzida na urgência do diálogo experimental. Ela participa de maneira inesperada da convergência que tem como propósito renovar a dinâmica e construir o elo entre a ciência do ser e o mundo do devir⁴⁴. Na origem da mecânica quântica, há um conjunto de dados novos que a mecânica clássica não consegue interpretar, como já tinha acontecido com as leis do funcionamento das máquinas térmicas. Ainda são o fogo, o calor, a faísca elétrica e a luz que emite ou absorve uma partícula excitada que atuam sobre os corpos. No fim do século XIX, sabe-se que cada elemento químico emite uma luz que lhe é específica, a qual não possui o conjunto contínuo das frequências, mas apenas um espectro descontínuo. Essa luz, quando decomposta em frequências, imprime numa chapa fotográfica uma verdadeira assimetria do elemento químico, um conjunto de linhas de intensidade e frequência características. Este estudo consiste na espectroscopia da matéria e constitui um dos

⁴² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 221-2.

⁴³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 222.

⁴⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979, p. 223-4.

pontos de partida históricos da mecânica quântica. Ele trata dos estados excitados do átomo e da emissão ou absorção em frequências descontínuas⁴⁵.

Em 1900, Max Planck estuda certas propriedades da radiação luminosa e introduz uma constante universal. Ele ambiciona fazer para a interação entre matéria-luz o mesmo que Boltzmann fez para a interação matéria-matéria, ou seja, *descobrir um modelo cinético da evolução irreversível*⁴⁶. No trabalho sobre a radiação do “corpo negro”, ele admite que só uma repartição descontínua da energia pode explicar os dados experimentais⁴⁷.

Em 1905, Einstein redescobre o significado da constante de Planck e suas implicações para a natureza da luz. Esta constante associa o caráter ondulatório da luz ao caráter corpuscular. A onda luminosa fica, assim, caracterizada por uma frequência e um comprimento de onda, em que a constante de Planck permite a passagem da frequência a uma grandeza corpuscular – o quantum de energia – ou do comprimento de onda a uma grandeza mecânica – o momento⁴⁸.

Em 1924, Louis de Broglie estende esta dualidade onda-partícula à matéria. Neste momento, surge a formulação da mecânica quântica e a subversão de categorias clássicas, como a de causalidade. Porém, é com a quantificação da energia, aplicada por Einstein a problemas como o do calor específico a baixa temperatura, que surge a idéia de “salto” realizado pelos átomos entre os níveis discretos de energia⁴⁹.

Em 1913, Bohr propõe um modelo atômico simplificado, no qual associa a nova física quântica aos espectros de absorção e emissão de energia. Mas este modelo possui postulados à primeira vista paradoxais. O primeiro paradoxo diz respeito a elétrons

⁴⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 224.

⁴⁶ ... *découvrir un modèle cinétique de l'évolution irréversible*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 224.

⁴⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 224.

⁴⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 224-5.

carregados negativamente girando ao redor de um núcleo carregado positivamente. Segundo a visão clássica, o elétron carregado deve emitir uma radiação e ao fazer isso perde energia, chocando-se contra o núcleo. Como consequência, Bohr postula uma órbita eletrônica estacionária, na qual o movimento do elétron adquire um caráter conservativo, ou seja, não emite radiação enquanto gira ao redor do núcleo, podendo permanecer aí, indefinidamente. Mas quando o átomo é excitado, o elétron adquire energia e salta de uma órbita a outra. O elétron emite ou absorve um fóton numa frequência correspondente à diferença de energia em cada uma das órbitas. Em síntese, o espectro de absorção corresponde à absorção de luz quando o elétron salta para uma órbita mais afastada do núcleo, enquanto o espectro de emissão corresponde à emissão de um fóton quando o elétron salta para uma órbita mais próxima do núcleo, isto é, do estado excitado para o estado fundamental⁵⁰. Para explicar o aspecto descontínuo das linhas do espectro de emissão/absorção, Bohr adota os “níveis quânticos”. Ele postula que para cada átomo existe um certo número permitido de órbitas. Assim, a energia associada ao movimento do elétron só pode adquirir certos valores. As linhas espectrais que constituem a assimetria espectroscópica do átomo denotam as diferenças entre os níveis de energia permitidos para cada tipo de átomo e permitem calcular as órbitas características de cada átomo ou molécula⁵¹.

No modelo de Bohr, como o elétron não emite nem absorve energia, ele não interage com o mundo exterior, o que inviabiliza qualquer tipo de medida. Somente quando o elétron salta de uma órbita para outra é que se torna possível conhecer algo sobre ele, através da diferença de energia entre dois níveis. Assim, não é possível

⁴⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 225.

⁵⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 225.

⁵¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 226.

conhecer o movimento do elétron nessas órbitas (a posição e a velocidade do elétron em cada instante). Só são observáveis os níveis de energia das órbitas atômicas⁵².

Ao se comparar as teorias de Bohr e de Boltzmann, observa-se que ambas envolvem modelos que admitem abertura para constituintes desconhecidos, ultrapassando os modelos dedutivos das respectivas épocas⁵³.

Entre 1925 e 1927, Heisenberg, Jordan, Born, Schrödinger e Dirac transformam o trabalho de Bohr num edifício coerente, além de incorporar a dualidade onda-partícula dos trabalhos de Einstein e de de Broglie⁵⁴.

Após a Primeira Guerra Mundial, as pesquisas mostram uma insuficiência nos conceitos da dinâmica clássica⁵⁵. Uma impossibilidade lógica surge nela quando não é possível atribuir valores bem determinados à posição e à velocidade. A esta impossibilidade Heisenberg dá o nome de *relação de incerteza*. Desta maneira, o conceito de *trajetória* perde o sentido. Enquanto na mecânica clássica é possível atribuir, a uma certa distribuição de pontos no gráfico, um valor bem determinado para as velocidades e indeterminado para as posições⁵⁶, ou ainda, descrever uma trajetória por valores bem determinados para as posições e para as velocidades, em mecânica quântica é impossível escolher um conjunto de posições e de velocidades bem determinadas ao mesmo tempo. Apesar dessa impossibilidade, a mecânica quântica não reivindica uma nova lógica. Sua exigência corresponde ao mesmo princípio de não-contradição do formalismo clássico, porém, o conceito de contraditório é redefinido⁵⁷.

⁵² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 226.

⁵³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 226.

⁵⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 227.

⁵⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 227.

⁵⁶ Indeterminado para as posições porque todos os valores possuem a mesma probabilidade.

⁵⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 231.

Para Bohr, é fundamental abandonar o realismo clássico, pois a constante de Planck define como indecomponível a interação entre um sistema quântico e um instrumento de medida. Assim, o fenômeno quântico é o resultado da operação de medida à qual se pode atribuir as grandezas cujos valores numéricos vamos medir. Deste modo, a descrição de um fenômeno quântico implica a *escolha* de uma operação de medida macroscópica, ou seja, a escolha da questão colocada ao sistema quântico. O resultado fornece uma característica do sistema no estado próprio em que *se escolheu* produzi-lo e descrevê-lo⁵⁸. A objetividade clássica equipara a *descrição objetiva do sistema "tal como é em si mesmo"* com a *descrição completa*. A mecânica quântica impõe uma redefinição da noção de *objetividade*. Mas esta redefinição é bem mais geral do que pensava Bohr, atingindo igualmente os sistemas da dinâmica clássica. Esta nova objetividade não resulta de perturbações arbitrárias introduzidas pela operação de medir, as quais sugerem a idéia de que o sistema "em si" ainda permanece caracterizado por valores bem determinados. Neste caso, o realismo tradicional simplesmente viria acompanhado de uma proibição de aparência estritamente positivista, ou seja, não atribuir uma posição e uma velocidade a uma partícula, ao mesmo tempo, pois quando se mede uma, a outra se modifica de maneira incontrolável⁵⁹. Contra esta interpretação realista, Bohr enfatiza a idéia positiva de uma escolha necessária. A escolha diz respeito a uma linguagem, a um conjunto de conceitos macroscópicos em termos dos quais se solicitará uma resposta do sistema. Isto significa que nenhuma preparação pode esgotar a realidade do sistema. Todas as linguagens possíveis são complementares, pois todas tratam de uma mesma realidade. Entretanto, nenhuma delas pode ser descrita como explicação última. Esse seu caráter irreduzível mostra a impossibilidade de generalizar

⁵⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 231.

⁵⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 232.

um aspecto, apresentando-o como totalidade do real. Contudo, não se trata de fazer uma descrição incompleta ou mesmo imprecisa. O aspecto mais importante enunciado pelo princípio da complementaridade é a apresentação de uma realidade demasiadamente rica, que não fica confinada a certa linguagem, estrutura lógica ou formulação conceitual. Cada uma dessas formas de apresentação exprime uma parte da realidade, uma escolha de um ponto de vista⁶⁰.

3.3. A Síntese do Simples e do Complexo

A ciência clássica tem a convicção de que o microscópico é simples. Entretanto, esta convicção é desmentida em duas situações. Numa, pela descoberta de que a simplicidade da dinâmica pertence ao mundo macroscópico, que ela não é atribuível ao fenômeno quântico senão através dos instrumentos. Noutra, pela descoberta de que, na mecânica clássica, a evolução dinâmica não é simples o bastante para admitir a idéia de *trajetória*. Ora, o operador microscópico de entropia pode ser construído, ali onde o microscópico deixa de ser simples⁶¹.

Vimos que a entropia corresponde a um atrator. O estado de entropia máxima “atrai” todo sistema isolado que se encontra em outro estado, de entropia menor. A termodinâmica dos fenômenos irreversíveis especifica, em termos de grandezas macroscópicas, a natureza desta atração, característica da entropia. Porém, permanece a questão da interpretação microscópica desses atratores. A tentativa de Boltzmann só

⁶⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 232-3.

⁶¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 261.

conduz a um sucesso parcial e as tentativas de generalizá-la com a ajuda dos conjuntos de Gibbs parecem levar a um impasse. Todavia, uma vez desvinculadas as noções de *estabilidade fraca e de complexidade da evolução dinâmica* no espaço de fase, os obstáculos desaparecem. Boltzmann elabora uma descrição estranha à representação clássica e postula outra que é obtida através de uma transformação diferente da dinâmica hamiltoniana⁶².

Chega-se, assim, a uma nova síntese. Uma unidade inesperada se desenha entre as diferentes descrições temporais desenvolvidas durante várias gerações. As descrições dinâmicas, probabilistas e macroscópicas, aparecem como discordantes e contraditórias. Um dos resultados mais importantes da teoria das transformações é o de que a mudança de variáveis conduz, em casos simples como a transformação do padeiro⁶³, de uma equação determinista a uma descrição probabilista, incluindo a noção de irreversibilidade. Daí, para se chegar às descrições macroscópicas da termodinâmica fenomenológica, basta calcular as medidas nas equações probabilistas⁶⁴.

O papel da mecânica quântica nessa perspectiva é que a constante de Planck introduz uma redução do número de variáveis independentes na descrição dinâmica⁶⁵. A mecânica quântica ocupa uma posição intermediária. Ela é “*mais*” determinista do que

⁶² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 260-1.

⁶³ A transformação do padeiro é geométrica. “*Um quadrado é primeiro achatado para virar um retângulo de base 2 e altura ½; em seguida, as duas metades superpostas desse retângulo tornam a constituir um novo quadrado. Esta transformação é reversível, pois a transformação inversa, que alonga o quadrado num retângulo de base ½ e altura 2, antes de recompor um novo quadrado, remeteria por definição cada um dos pontos à sua posição inicial.*” No entanto, a sucessão destas transformações é um exemplo de sistema dinâmico reversível, cuja descrição determinista trata de aproximações. Isto porque, tomando uma região do espaço, qualquer que seja o seu tamanho, por menor que seja, ela acabará sendo fragmentada pela operação de corte do retângulo, e seus fragmentos sofrerão o mesmo tipo de fragmentação. Isso quer dizer que dois pontos tão próximos quanto se queira terão, no final, destinos divergentes. PRIGOGINE, 2002. p. 42; PRIGOGINE, 1992. p. 100.

⁶⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 262.

⁶⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 262.

*a teoria clássica dos conjuntos e “menos” do que a teoria clássica das trajetórias*⁶⁶. Mas a mecânica quântica e dinâmica clássica dos sistemas de estabilidade fraca se separam da dinâmica das trajetórias por razões opostas. No caso clássico, as trajetórias são demasiadamente “desordenadas” e “independentes”. No caso quântico, ao contrário, as trajetórias vizinhas estão relacionadas e não podem ser separadas⁶⁷.

A física clássica é dominada pelo ideal de conhecimento máximo, completo, que reduz o devir a uma repetição tautológica do mesmo. Este é o mito fundador desta ciência. Hoje, a física das trajetórias surge como uma ilhota cercada pelas ondas de instabilidade e da coerência quântica⁶⁸.

⁶⁶ ... *la mécanique quantique est “plus” déterministe que la théorie classique des ensembles et elle l’est “moins” que la théorie classique des trajectoires.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 263.

⁶⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 263-4.

⁶⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 264.

4. O Reencantamento do Mundo?

Este capítulo tem por objetivo fazer um balanço da proposta de Prigogine e Stengers, que oferecem novos caminhos para a ciência e a filosofia, decorrentes da metamorfose do saber científico e sua nova abertura.

Partindo da pretensão da dinâmica em esgotar seu objeto, de seu consequente encontro com objetos instáveis e do reconhecimento de que ela corresponde apenas a um caso particular num universo incerto, Prigogine e Stengers concluem que o saber científico deixa de ser onisciente. Ligadas a isto, as consequências da metamorfose da ciência são as seguintes. Em primeiro lugar, surge a possibilidade da retomada do tema da multiplicidade dos tempos, evidenciando as oposições entre filosofia e ciência; em segundo, o observador é recolocado enquanto ator e espectador diante da natureza; em terceiro, o universo se mostra reconciliado, permitindo uma equivalência entre ciência das coisas e ciência dos homens; em quarto, a nova abertura da ciência permite que a sua história seja capaz de voltar atrás e reencontrar questões esquecidas, ultrapassando preconceitos enraizados; em quinto, verifica-se o fim do afrontamento entre interrogação filosófica e científica, em virtude da complementaridade dos saberes, que alimenta as preocupações referentes a certa cultura em certa época. Por fim, a metamorfose da ciência leva à metamorfose da natureza, ao surgimento de um novo “estado de natureza”, uma nova aliança enquanto “escuta poética” dos processos

naturais. No sentido desta abertura, a parte final deste capítulo inclui uma discussão de algumas teses de Prigogine e Stengers. Por um lado, veremos as críticas de Bricmont a estes autores, envolvendo as apropriações indevidas de conceitos advindos de outras áreas de conhecimento, com os possíveis mal-entendidos que surgem daí. Por outro, veremos algumas das idéias de Capra, de acordo com as quais Prigogine e Stengers contribuem efetivamente para a formação de uma nova visão científica, coerente com temas como a vida, a mente e a matéria.

4.1. O Fim da Onisciência

Para Prigogine e Stengers, a dinâmica tem a pretensão de esgotar o seu objeto de estudo através dum conjunto de equivalências que definem as possibilidades de manipulação¹. Mas a termodinâmica introduz a irreversibilidade, tematizando assim algo que escapa à manipulação ou só pode ser submetido com ardis e perdas. A física é levada a reconhecer que a dinâmica não passa de um caso particular². Prigogine e Stengers buscam, então, compreender os processos complexos que possibilitem determinar a abertura que descrevem. Isto lhes permite inscrever na ciência a urgência de preocupações novas, através de questões que perturbam e modificam os antigos conceitos³. O século XIX reconhece a irreversibilidade e o século XX procura, nos processos irreversíveis, a chave para compreender a natureza, inspirado pelo modelo biológico que constitui a metamorfose da ciência⁴. Assim, as leis gerais perdem o alcance explicativo e dão lugar aos fenômenos que se afastam do equilíbrio, fenômenos

¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 268.

² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 270.

³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 269.

⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 270.

de auto-organização espontânea, evoluções para a complexidade e diversidade crescentes, pois a natureza pode seguir caminhos não mais previstos com segurança. Nesta natureza bifurcante, pequenas diferenças, flutuações insignificantes podem invadir o sistema, instaurando um novo regime de funcionamento⁵. As ciências da natureza libertam-se de uma concepção estreita da realidade objetiva, do fascínio de representar a racionalidade como coisa fechada, o conhecimento como algo em vias de se completar. Elas mostram uma abertura à imprevisibilidade, ao diálogo com uma natureza que não pode ser dominada teoricamente, mas apenas ser explorada num mundo aberto e em construção⁶.

A partir destas inovações, estamos mais próximos hoje da natureza sobre a qual se interrogavam os pré-socráticos e também da natureza sublunar de Aristóteles, com seus poderes de crescimento e de corrupção e cuja inteligibilidade e incerteza são inseparáveis. Assim, os caminhos da natureza não podem mais ser previstos com segurança. Pequenas flutuações podem alterar todo o sistema. Essa instabilidade, característica da natureza, é encontrada num outro nível, o microscópico. Neste, procuramos compreender o estatuto da *irreversibilidade*, do aleatório, da flutuação estatística, de todos estes aspectos que a ciência macroscópica reúne num complexo novo. Num mundo homogêneo descrito pelas leis usuais da dinâmica, essas noções seriam apenas aproximações e as perspectivas introduzidas por Prigogine e Stengers, ilusões⁷.

A idéia de que a física não pode definir o movimento molecular como determinado e de que a descrição estatística possui um caráter irreduzível não é desconhecida nesta ciência. Para Brush, os cientistas do século XIX falam muitas vezes

⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 271.

⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 273.

da irregularidade e do caráter aleatório dos movimentos moleculares para justificar o uso do raciocínio estatístico⁸. De acordo com Maxwell, a irregularidade do movimento elementar é necessária para que o sistema se comporte de maneira irreversível. Por outro lado, ele afirma que a irregularidade está ligada à nossa ignorância. Isto revela a ambiguidade entre uma indeterminação intrínseca e uma indeterminação “epistemológica”⁹. Esta ambiguidade transforma-se em oposição, com o problema da interpretação do formalismo quântico¹⁰. Pode-se encontrar em Maxwell uma antecipação da chave da solução para esse problema, quando fala da instabilidade do movimento, dos pontos singulares em que pequenas causas produzem efeitos muito grandes. Atualmente, porém, a dinâmica permite definir sistemas em que os pontos singulares constituem a regra¹¹.

A ciência das trajetórias e o demônio de Laplace, que encarnam o ideal de onisciência, se tornam uma idealização, porque é preciso que as condições iniciais estejam bem definidas num ponto, para definir o sistema num estado único. Entretanto, surgem dois obstáculos quando se expressa a passagem ao limite para as condições iniciais. O primeiro consiste no caos das trajetórias em sistemas de baixa estabilidade e o segundo, na coerência dos movimentos quânticos, determinados pela constante de Planck. Nos dois casos, não é possível definir um estado pontual único, o que transforma a trajetória numa idealização inadequada. Assim, os limites intrínsecos da

⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 271.

⁸ BRUSH, S. Irreversibility and Indeterminism: From Fourier to Heisenberg, *Journal of the History of Ideas*, vol. 37, 1976. pp. 603-30 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 171.

⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 271.

¹⁰ A ambiguidade na indeterminação, que surge com o formalismo da mecânica quântica, dividiu a pesquisa em dois grupos. O primeiro é representado pela escola de Copenhague, que somente se preocupa em descrever o comportamento dos elétrons nos átomos. O segundo corresponde à escola que busca um fundamento conceitual para a existência dos elétrons e seus comportamentos. PESSOA JÚNIOR, 1992. p. 42-51.

¹¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 272.

chamada *revolução científica* são descobertos, tanto na dinâmica quanto na mecânica quântica¹².

Os objetos do primeiro diálogo experimental são escolhidos por serem redutíveis a um modelo matemático. Eles pertencem à classe muito restrita dos sistemas dinâmicos, para os quais as trajetórias podem ser definidas com sentido. A física contemporânea está ligada à constatação da validade limitada destes conceitos, que pressupõem uma descrição completa e determinista. Ela descobre, no seio do tratamento matemático, o mundo “sublunar” de Aristóteles. A partir deste momento, as ciências da natureza concebem a realidade objetiva sem negar a novidade e a diversidade em nome de uma lei imutável, tanto no nível macroscópico quanto no microscópico. As ciências da natureza se encontram abertas à imprevisibilidade, a qual elas não mais consideram um conhecimento imperfeito, um controle insuficiente. Elas se abrem então ao diálogo com uma natureza que não pode ser dominada teoricamente, mas apenas explorada num mundo aberto e em construção¹³.

4.2. A Metamorfose da Ciência

Fazendo uma revisão das consequências da metamorfose da ciência, observa-se, em primeiro lugar, que, depois de mais de três séculos, a física retoma *o tema da multiplicidade dos tempos*¹⁴. Lagrange, d’Alembert e depois Einstein definem o tempo e o espaço como um conjunto de quatro dimensões. Além disso, a tradição física afirma

¹² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 272.

¹³ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 273.

¹⁴ ... *le thème de la multiplicité des temps*. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 274.

que o tempo é um parâmetro geométrico externo que esgota a verdade do devir de todo ser natural. Meyerson, por seu turno, descreve a história da ciências na modernidade como a realização progressiva de um preconceito constitutivo da razão humana: a necessidade de uma explicação que reduza o diverso e o mutável ao idêntico e ao permanente, eliminando o tempo¹⁵.

Na física contemporânea, Einstein encarna com força máxima a ambição de eliminar o tempo. Bergson tenta defender, contra Einstein, *a multiplicidade dos tempos vividos*¹⁶, coexistindo na unidade de um tempo real, e a evidência intuitiva que nos faz pensar que estas múltiplas durações participam de um mesmo mundo. Mas Einstein rejeita, sem direito a apelação, o “tempo dos filósofos”. Além disso, em uma carta a seu amigo Besso, Einstein afirma que a irreversibilidade é uma ilusão suscitada por condições iniciais improváveis. Com isso, a distinção entre passado, presente e futuro se torna uma ilusão, embora tenaz¹⁷.

Atualmente, a física reconhece o tempo irreversível das evoluções que tendem ao equilíbrio, o tempo bifurcante das evoluções instáveis e das flutuações, o tempo microscópico que manifesta a indeterminação das evoluções físicas microscópicas. Surge, assim, uma nova concepção na qual cada ser é constituído por uma pluralidade de tempos. A história de um ser vivo ou de uma sociedade não pode mais ser reduzida a um tempo único, seja das invariâncias, seja do progresso ou da degradação¹⁸. A história da ciência que nega o tempo é também uma história de tensões sociais e culturais. Esta ciência, que na origem constitui uma aposta audaciosa contra a tradição aristotélica, acaba por mostrar-se dogmática e caminha contra químicos, biólogos e médicos, todos

¹⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 274.

¹⁶ ... *la multiplicité des temps vécus...* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 274.

¹⁷ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 274.

¹⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 275.

aqueles que pretendem fazer respeitar a diversidade qualitativa da natureza. No fim do século XIX, desaparece o confronto entre os cientistas, que agora é substituído pela oposição entre “a ciência” e o restante da cultura, em particular, a filosofia. Pode-se ver, no interior de algumas doutrinas filosóficas, um testemunho da oposição contra o dogmatismo do discurso científico, como, por exemplo, o “tempo vivido” da fenomenologia, ou a oposição entre o mundo objetivo da ciência e a *Lebenswelt* que lhe escapa¹⁹.

Para Husserl²⁰, a filosofia é a meditação sobre o enraizamento originário de toda experiência e está em luta contra o esquecimento que a ciência e suas tecnologias promovem. Há todo um conjunto de oposições, entre aparência e realidade, saber e não-saber, ciência dos fundamentos e ciência do epifenômeno, que estruturam o terreno de um afrontamento do qual hoje queremos nos afastar ao máximo²¹.

A segunda consequência da metamorfose da ciência está em que agora, enquanto cientistas, somos ao mesmo tempo atores e espectadores. Einstein é o primeiro a mostrar esta transformação sofrida pela física, quando faz da impossibilidade de transmitir uma informação a uma velocidade superior à da luz a base da exclusão da noção de simultaneidade absoluta, construindo assim a teoria da relatividade. Einstein vê nisto uma equivalência com a fundação da Termodinâmica na impossibilidade do movimento perpétuo. Mas alguns de seus contemporâneos não pensam assim. Heisenberg, por exemplo, vê uma diferença entre as duas impossibilidades: na termodinâmica, o movimento perpétuo é uma situação ausente na natureza, enquanto na

¹⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 276.

²⁰ HUSSERL. *La crise de l'humanité européenne et la philosophie* – Paris: Paulet, 1975.

²¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 276.

relatividade é uma observação, ou seja, uma comunicação entre a natureza e quem a descreve que é tida como impossível²².

Para Merleau-Ponty, as descobertas “filosóficas” da ciência provêm muitas vezes de descobertas negativas, que constituem o ponto de partida de uma inversão de perspectiva. As demonstrações de impossibilidade nos ensinam que qualquer que seja a teoria – dinâmica, relatividade ou mecânica quântica – não se pode descrever a natureza “de fora”, como puro espectador. A descrição é uma comunicação que está submetida a coerções muito gerais que nos identificam como seres macroscópicos situados no mundo físico. As teorias físicas pressupõem a definição das possibilidades de diálogo com a natureza²³. A própria natureza dos argumentos teóricos pelos quais explicitamos as novas descrições físicas manifesta o duplo papel agora atribuído ao homem: ator e espectador. Tanto na dinâmica dos sistemas de baixa estabilidade quanto na mecânica quântica, continuamos a fazer referência a um ponto no espaço de fases e uma trajetória, o que define o observador como espectador. Mas trata-se de idealizações inadequadas. Deste modo, chega-se a certos temas associados ao “idealismo”. Mas é digno de nota que as exigências mais determinantes da nova posição estejam associadas ao “materialismo”: compreender a natureza de modo tal que não seja absurdo dizer que ela nos produziu. É possível situar o duplo papel de ator e espectador no contexto que explicita o conhecimento teórico permitido pela evolução da física. Na ciência clássica, o observador desencarnado e o objeto descrito são opostos. Mas ultrapassar esta oposição não significa que o observador deva ser caracterizado de um ponto de vista “biológico”, “psicológico” ou “filosófico”. Ele só precisa possuir uma atividade

²² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 277.

²³ MERLEAU-PONTY, M. *Resumés de Cours 1952-60* – Paris: Gallimard, 1968. p. 119 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 277 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 277.

orientada no tempo, sem a qual não é possível conceber uma exploração do ambiente e, a fortiori, uma descrição física, seja ela reversível ou irreversível²⁴:

*... a própria definição de um aparelho de medida, ou a preparação de uma experiência, necessita da distinção entre “antes” e “depois”; e é porque sabemos da irreversibilidade do devir que podemos reconhecer o movimento reversível, a mudança simples, redutível a uma equivalência reversível entre causa e efeito.*²⁵

As estruturas dissipativas não impõem sua existência a partir de uma necessidade lógica. Foi preciso o “fato cosmológico” de um universo capaz de manter certos sistemas longe do equilíbrio para que o mundo macroscópico pudesse ser povoado por “observadores”, para que ele pudesse ser uma *natureza*. Assim, esse esquema traduz a nossa condição de seres macroscópicos num universo que se mantém longe do equilíbrio. Ele traduz a verdade histórica de nossa física, que se constitui a propósito da descrição de comportamentos reversíveis e deterministas, atribuindo-lhes não mais o papel de realidade fundamental, mas o de quadro de referência²⁶.

As ciências ditas “exatas” têm de sair dos laboratórios, das situações idealizadas, que buscam uma verdade geral da natureza, e se confrontar com a multiplicidade. Elas precisam estabelecer um diálogo com saberes preexistentes a respeito de situações familiares a cada um, coisa que alguns pensam constituir a singularidade das ciências humanas. Assim como as ciências sociais, as da natureza não podem esquecer as raízes sociais e históricas que os modelos teóricos supõem. Não significa, porém, fazer dessas raízes um obstáculo e cair num relativismo desencantado. Em sua reflexão sobre a sociologia, Merleau-Ponty enfatiza a urgência de se pensar a “*verdade na situação*”. Para ele, enquanto existir o ideal de um espectador e de um conhecimento sem ponto de

²⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 278.

²⁵ ... *la définition même d'un appareil de mesure, ou la préparation d'une expérimentation, nécessite la distinction entre “avant” et “après”, et c'est parce que nous savons l'irréversibilité du devenir que nous pouvons reconnaître le mouvement réversible, le changement simple, réductible à une équivalence réversible entre cause et effet.* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 278.

vista, nossa situação apresenta um princípio de erro. Porém, se reconhecemos que estamos inseridos num contexto, este reconhecimento torna-se origem de toda a verdade, inclusive a da ciência. Atualmente, a ciência se afirma como *humana*, feita por homens e para homens²⁷.

A terceira consequência da metamorfose da ciência está na concepção de um universo reconciliado, em que a ciência do homem e a das coisas se equivalem. A física teórica pode compreender agora o sentido de certas questões filosóficas que se referem à situação do homem no mundo. Podemos compreender a transformação dinâmica, desde o modelo dos sistemas estáveis, cujas trajetórias podiam ser calculadas, até a descoberta da estabilidade fraca, através de uma dupla referência filosófica: as mônadas leibnizianas e o clinâmen lucreciano, duas construções filosóficas criticadas como as mais arriscadas. O clinâmen, que perturba “sem razão” as trajetórias dos átomos, é muitas vezes considerado como absurdo e incoerente; as mônadas, unidades metafísicas sem comunicação entre si, “sem janelas pelas quais algo possa entrar ou sair”, são consideradas “delírio lógico”. Ora, todo sistema integrável é tratado como fechado em si mesmo, coexistindo com os demais em harmonia preestabelecida. Isto é uma definição da mônada leibniziana. Assim, todo sistema integrável admite uma representação monádica. Inversamente, a monadologia leibniziana pode ser traduzida em linguagem dinâmica: o Universo é um sistema integrável²⁸.

A equivalência matemática entre a *representação newtoniana*, que apela a massas e forças, e a representação monádica, em que cada unidade se desdobra, evoluindo espontaneamente, não é coincidência. Ambas repousam sobre a mesma

²⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 279-80.

²⁷ MERLEAU-PONTY, M. “*Le philosophe et la sociologie*” in: *Éloge de la philosophie*, Coleção Idées. Paris: Gallimard, 1960, pp. 136-137 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 280-1.

²⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 281-2.

escolha filosófica, que privilegia o ser com relação ao devir, a permanência com relação à mudança. Leibniz, um dos pais da dinâmica, certamente não ignorava o que mais tarde Whitehead sublinhou: as forças newtonianas estabelecem relações puramente exteriores entre as massas, que constituem apenas um suporte indiferente para estas mesmas forças. Mas esta não é toda a verdade, como o comprovam os processos de absorção e emissão de fótons, base experimental da mecânica quântica. Tais processos revelam interações entre as órbitas eletrônicas “monádicas”. Precisamos então de uma terceira representação, irreduzível às representações leibnizianas e newtonianas, a qual descreve unidades reais (fótons, elétrons) que, por definição, participam de processos dissipativos não elimináveis por transformação. A fim de reconhecer a convergência entre teoria física e doutrina filosófica, no que diz respeito à articulação entre ser e devir, Prigogine e Stengers chamam esta terceira representação de “whiteheadiana”. Física e metafísica se encontram para refletir sobre um mundo em que o processo, o devir é constitutivo da existência física e em que, ao contrário das mônadas leibnizianas, as entidades existentes podem interagir, nascer e morrer²⁹.

Outra interrogação filosófica que pode ser reinterpretada é a do materialismo dialético e sua busca de leis universais, às quais corresponderia o devir dialético da natureza. Para os materialistas, as leis da mecânica são um obstáculo para uma natureza capaz de história, mas não são falsas em nome de um outro tipo de leis universais. Ao contrário, descobrindo os limites de seu campo de aplicação, eles conservam-lhes o seu caráter fundamental, delas fazendo a referência técnica e conceitual necessária para

²⁹ WHITEHEAD, A. N. *Process and Reality*. - New York: Mac Millan, 1969. p. 240-1 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 282-3.

descrever e definir o domínio em que elas não são mais suficientes para determinar o movimento³⁰.

Os átomos lucrecianos também possuem esse papel de referência a um mundo legal e em ordem, a uma teoria monádica das evoluções paralelas. Como Serres mostrou, a queda infinita constitui um modelo para fazer pensar a perturbação que faz nascer as coisas na natureza. Sem o clinâmen, que perturba a queda vertical e permite encontros e associações de átomos até então isolados em sua queda monótona, nenhuma natureza poderia ser criada.³¹

Lucrécio inventa o clinâmen e, da mesma forma, a física contemporânea inventa o tempo irreversível. Sem ele, só existiriam trajetórias monótonas e reversíveis. O tempo é irreversível, e é por isso que a descoberta da estabilidade fraca das trajetórias de certos sistemas é fonte de inovação, oportunidade de alargamento da dinâmica³².

A propósito da análise da física de Lucrécio³³, descobrimos uma ligação no interior do saber moderno entre a escolha de uma descrição física e uma concepção filosófica, ética ou religiosa que diz respeito à situação do homem na natureza. A física universalizante opõe-se a uma outra ciência que não luta contra a perturbação ou indeterminação em nome da lei e da dominação. A ciência clássica dos fluxos se opõe à ciência das turbulências e das evoluções bifurcantes, à ciência que mostra que a perturbação pode fazer nascer as coisas, a natureza e os homens³⁴:

A sabedoria helênica atinge aqui um de seus pontos mais altos, em que o homem é no mundo, do mundo, na matéria, da matéria. (...) Epicuro e Lucrécio vivem num universo

³⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 283.

³¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 284.

³² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 284.

³³ LUCRÉCE, De la Nature [Tradução: Ernout, A.] – Paris: Las Belles Lettre, 1972 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 284.

³⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 285.

*reconciliado, em que a ciência das coisas e a do homem convêm na identidade. Eu sou a perturbação, um turbilhão na natureza turbulenta.*³⁵

A quarta consequência da metamorfose da ciência é a sua abertura. A história das ciências não tem a simplicidade da evolução biológica em direção à especialização. Ela é uma história mais sutil e surpreendente. Ela é sempre capaz de voltar atrás, de reencontrar questões esquecidas e, sobretudo, de ultrapassar preconceitos profundamente enraizados³⁶. Tal descrição se opõe à análise psicossocial de Thomas Kuhn³⁷, que evidencia uma concepção positivista da evolução das ciências, evolução para uma especialização e compartimentação das disciplinas científicas, atingindo o chamado *comportamento científico normal*. Prigogine e Stengers discutem a descrição de Kuhn, mas sublinham o seu caráter parcial e historicamente situado no contexto das universidades modernas. Ela é *historicamente situada* porque é na estrutura descrita por Kuhn - uma estrutura que aparece ao longo do século XIX, mas que não existia antes - que se encontra a chave do saber implícito, do “paradigma” que constitui a base da investigação normal conduzida pela comunidade científica. Ao refazer sob forma de exercício os problemas-chave resolvidos pelas gerações precedentes, os estudantes aprendem as teorias e critérios que fundam a pesquisa numa comunidade. Ela é *parcial* porque, mesmo em nossa época, para a qual a descrição kuhniana tem o mais alto grau de pertinência, ela enfatiza no máximo uma só dimensão da atividade científica, que tem sua importância definida pelos investigadores individuais em seu contexto institucional³⁸.

³⁵ SERRES, M. La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce. p. 139 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 285.

³⁶ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 287.

³⁷ KUHN, T. The Structure of Scientific Revolutions – Chicago: The University Press, 1970 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 287.

³⁸ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 287-8.

A transformação de um paradigma aparece sob a forma de uma *crise*, na qual o paradigma vigente deixa de ser uma norma silenciosa, invisível e inconteste e passa a ser discutido e questionado³⁹. O grupo se diversifica e surge, então, um novo paradigma e uma nova geração de cientistas, o que aumenta a intensidade das discussões. Os domínios respectivos dos paradigmas rivais são postos à prova até que se decida pela vitória de um deles. A nova geração de cientistas escreve novos manuais, reinstala o silêncio e a unanimidade e, novamente, tudo se torna inconteste. Nesta ótica, o motor da inovação científica é o comportamento conservador das comunidades científicas que aplicam à natureza os mesmos conceitos. De repente, os investigadores encontram uma pequena resistência, ou seja, a natureza se recusa a exprimir-se na linguagem suposta pelas regras do paradigma. A crise se instaura novamente e todos os esforços intelectuais se voltam à pesquisa de nova linguagem em torno do conjunto de problemas que marcam a resistência da natureza. As comunidades científicas provocam crises sistematicamente, mas na medida em que não as procuram⁴⁰.

Nos últimos cem anos, a história da física mostra algumas crises que se assemelham às descritas por Kuhn. Mas, mostra também problemas gerados de maneira lúcida e deliberada por preocupações filosóficas. Como toda história social, a das ciências é um processo complexo em que coexistem acontecimentos determinados por interações locais e projetos informados por concepções globais sobre a tarefa da ciência e a ambição do conhecimento⁴¹.

A quinta consequência da metamorfose da ciência está no novo caráter da interrogação científica. O caráter aberto da ciência deve ser reconhecido, assim como a fecundidade dos diálogos entre interrogações filosóficas e científicas deve deixar de ser

³⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 287.

⁴⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 288.

negada por fechamentos ou destruída por afrontamentos. Os protestos de Merleau-Ponty contra estes fechamentos e afrontamentos constituem a melhor definição do tema e do objetivo articulados no livro de Prigogine e Stengers⁴²:

*O recurso à ciência não precisa ser justificado: seja qual for a concepção que se tenha da filosofia, ela tem que elucidar a experiência, e a ciência é um setor da nossa experiência... é impossível recusá-la antecipadamente, sob pretexto de que trabalha na linha de certos preconceitos ontológicos: se trata-se de preconceitos, a própria ciência, na sua vagabundagem através do ser, encontrará efetivamente ocasião de recusá-los. O ser abre passagem através da ciência como através de toda a vida individual. Ao interrogar a ciência, a filosofia conseguirá encontrar certas articulações do ser que, de outra forma, lhe seria mais difícil revelar.*⁴³

A diferença entre as interrogações científica e filosófica não tem por objetivo identificá-las ou substituir uma pela outra. Trata-se antes da complementaridade dos saberes que constituem a tradução de preocupações pertencentes a uma cultura e a uma época⁴⁴.

Ao longo de seu estudo, Prigogine e Stengers mostram que a interrogação científica é limitada pelo diálogo experimental. Ora, é possível que a situação seja diferente na filosofia. Mas Prigogine e Stengers oferecem a hipótese de que os filósofos também enfrentam um processo experimental. Não se trata de uma experimentação sobre a natureza, mas sobre os conceitos e suas articulações, uma experimentação na arte de colocar questões e seguir as consequências com o mais extremo rigor⁴⁵.

⁴¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 289.

⁴² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 290.

⁴³ *Le recours à la science n'a pas besoin d'être justifié: quelque conception qu'on se fasse de la philosophie, elle a à élucider l'expérience, et la science est un secteur de notre expérience ... et est impossible de la récuser par avance sous prétexte qu'elle travaille dans la ligne de certains préjugés ontologiques: si ce sont des préjugés, la science elle-même, dans son vagabondage à travers l'être, trouvera bien l'occasion de les récuser. L'être se fraye passage à travers la science, la philosophie gagnera à rencontrer certaines articulations de l'être qu'il lui serait plus difficile de déceler autrement.* MERLEAU-PONTY, *Résumés de cours 1952-1960*, p. 117-8 apud PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p.290.

⁴⁴ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 290.

⁴⁵ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 290-2.

Whitehead exprimiu com clareza esta concepção da experimentação filosófica, com seus graus de liberdade e seus limites⁴⁶. Na hipótese de Prigogine e Stengers, a experimentação científica e filosófica não devem ser opostas como o concreto ao abstrato. O próprio Whitehead inverteu a oposição, mostrando que a filosofia produz, pelo jogo dos conceitos, experiências reais em sua riqueza concreta. E Deleuze chega a falar, a propósito de tal ambição filosófica, de *empirismo*:

*O empirismo não é de modo algum uma reação contra os conceitos, nem um simples apelo à experiência de vida. Ele empreende, ao contrário a mais excêntrica criação de conceitos que jamais se viu ou entendeu. O empirismo, é o misticismo do conceito, e seu matematicismo. Mais precisamente ele trata o conceito como objeto de um encontro, como um aqui agora, ou antes como um Erewhon (... lugar utópico, e portanto "aqui e agora" e "nenhuma parte", imaginado por Samuel Butler), de onde saem, inesgotáveis, os "aqui" e os "agora" sempre novos, distribuídos de outra forma. Só o empirista pode dizer: os conceitos são as coisas mesmas, mas coisas em estado livre e selvagem, para além dos "predicados antropológicos". Eu faço, refaço e desfaço meus conceitos a partir de um horizonte móvel de um centro sempre descentrado de uma periferia sempre deslocada que os desloca e os diferencia.*⁴⁷

Temos aqui uma convergência em que se revela a coerência cultural de uma época, na qual os filósofos citados nos permitem, como diz Deleuze, passar "da ciência ao sonho e inversamente"⁴⁸.

A última consequência da metamorfose da ciência é a metamorfose da natureza. A metamorfose das ciências contemporâneas não é ruptura. Ao contrário, ela conduz à compreensão de práticas antigas que a ciência moderna, orientada pelo modelo do

⁴⁶ WHITEHEAD. *Process and Reality* – New York: Mc Millan, p. 40 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 292.

⁴⁷ *L'empirisme n'est nullement une réaction contre les concepts, ni un simple appel à l'expérience vécue. Il entreprend au contraire la plus folle création de concepts qu'on ait jamais vue ou entendue. L'empirisme, c'est le misticisme du concept, et son mathématisme. Mais précisément il traite le concept comme l'objet d'une rencontre, comme un ici-maintenant, ou plutôt comme un Erewhon (... lieu utopique, et donc à la fois « ici et maintenant » et « nulle part », imaginé par Samuel Butler), d'où sortent, inépuisables, les « ici » et les « maintenant » toujours nouveaux, autrement distribués. Il n'y a que l'empiriste qui puisse dire : les concepts sont les choses mêmes, mais les choses à l'état libre et sauvage, au-delà des « prédicats anthropologiques ». Je fais, refais et défais mes concepts à partir d'un horizon mouvant, d'un centre toujours décentré d'une périphérie toujours déplacée qui les déplace et les différencie.* DELEUZE, G. *Différence et répétition*. Paris: P.U.F. p. 4 *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 292.

⁴⁸ DELEUZE, G. *Différence et répétition*. Paris: P.U.F. *apud* PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 293.

autômato, acredita poder negligenciar. Para Michel Serres, camponeses e marinheiros sabem que não se manda no tempo e que não se empurra o crescimento dos seres vivos, este processo de transformação que os gregos chamam *physis*. Neste sentido, nossa ciência transforma-se enfim numa ciência física porque ela finalmente admite a autonomia das coisas e não somente das coisas vivas. Este é o “novo estado da natureza” que a atividade humana contribui para fazer existir: o desenvolvimento das plantas, o desenvolvimento desta nova natureza, povoada de máquinas e técnicas, o desenvolvimento das práticas sociais e culturais, o crescimento das cidades, todos esses processos são contínuos e autônomos, devendo ser respeitados de acordo com seu tempo intrínseco. No momento em que descobrimos a natureza, no sentido da *physis* grega, podemos compreender a complexidade das questões com as quais se confrontam as ciências da sociedade. Aprender a respeitar aquilo que a teoria física impõe a respeito da natureza é aprender a respeitar outras abordagens intelectuais, quer sejam as tradicionais, dos marinheiros e camponeses, quer sejam as criadas pelas outras ciências. Temos de aprender a não julgar os saberes produzidos pelas sociedades humanas, mas a cruzá-los, a estabelecer comunicações inéditas entre eles, para fazer face às exigências sem precedentes de nossa época⁴⁹.

Tanto a concepção clássica do mundo quanto a concepção evolucionista do século XIX tratam da dominação e do dualismo que opõe o controlador ao controlado, o dominador ao dominado. O mundo que alimenta a metamorfose da ciência pode ser compreendido como natural no momento em que compreendemos que o homem faz parte integrante dele. Porém, é um mundo no qual desaparecem as antigas certezas, que não se localizam mais na música, na pintura, na literatura, ou nos costumes. Nenhum

⁴⁹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 294-5.

modelo pode mais pretender a legitimidade, nenhum é mais exclusivo. Por toda parte reina a multiplicidade. Contudo, esse mundo, que parece renunciar à segurança das normas estáveis e permanentes, é perigoso e inseguro. Ele não pode inspirar uma confiança cega, mas talvez um sentimento de esperança mitigada⁵⁰.

Este é o clima cultural que alimenta e amplifica a descoberta de objetos insuspeitos como quasares, buracos negros, a descoberta também da diversidade das experiências na natureza e, por fim, a descoberta teórica das instabilidades, das proliferações, das migrações e das estruturações. Lá onde a ciência nos mostra uma estabilidade imutável e pacífica, compreendemos que nenhuma organização, nenhuma estabilidade é legítima. Nenhuma se impõe por direito. De agora em diante, todas são produto das circunstâncias e estão à mercê delas⁵¹.

Monod tem razão: a antiga aliança animista está morta. O mundo desta aliança morre com a revolução copernicana. Mas o nosso mundo hoje não é mais o da “aliança moderna”, o mundo-relógio sobre o qual tínhamos recebido a jurisdição. O saber científico pode se descobrir hoje simultaneamente como “escuta poética” da natureza e processo natural, processo aberto em um mundo aberto. Chegou o tempo de novas alianças.⁵²

4.3. Uma Questão em Aberto

A tese de Prigogine e Stengers é controversa. Existem autores que discutem as idéias destes autores, partindo do princípio que elas são mal interpretadas quando

⁵⁰ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 295.

⁵¹ Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 295-6.

⁵² Cf. PRIGOGINE e STENGERS, 1979. p. 296.

indevidamente introduzidas em campos heterogêneos do saber. Outros autores adotam tais teses em seus trabalhos, com o objetivo de realizar novas sínteses científicas. Bricmont é um representante do primeiro grupo, enquanto Capra é um representante do segundo.

Bricmont⁵³ é um dos maiores críticos dos trabalhos de Prigogine sobre irreversibilidade. É autor de um artigo, no qual, além das críticas que faz, pretende clarear as confusões na literatura corrente sobre caos, determinismo, flecha do tempo, entropia e regra da probabilidade em física. Seu trabalho pretende abarcar as idéias clássicas que vão desde Laplace até Boltzmann⁵⁴. Ele critica a popularização da ciência através das teorias do Big Bang, das partículas elementares, dos buracos negros, da irreversibilidade e da auto-organização. Segundo Bricmont, os livros de divulgação apresentam muitos conceitos errados. Isto ocorre particularmente com as afirmações sobre caos e irreversibilidade, feitas por Prigogine e Stengers na obra "*La Nouvelle Alliance*"⁵⁵. Com base nestes conceitos, um grande número de especulações são apresentadas sobre a noção de *evento*, sobre o lugar do ser humano na Natureza, ou mesmo sobre uma tentativa de superar o dualismo cartesiano⁵⁶. Estes escritos, frequentemente encontrados em filosofia ou círculos culturais, influenciam aqueles que não possuem conhecimentos específicos, levando-os a pensar de um modo diferente. Para Bricmont, quando corretamente apresentadas, as concepções clássicas de Boltzmann explicam a irreversibilidade macroscópica com base no determinismo, na reversibilidade e nas leis microscópicas. Parte da incompreensão ligada aos conceitos de

⁵³ Jean Bricmont é físico teórico na Universidade Católica de Louvain, Bélgica – UCL.

⁵⁴ Cf. BRICMONT, 2001. pp. 3-9; 19-23.

⁵⁵ PRIGOGINE e STENGERS, *La Nouvelle Alliance* – Paris: Gallimard, 1979 *apud* Cf. BRICMONT, 2001. p. 1.

⁵⁶ PRIGOGINE, *Les Lois du Chaos* – Paris: Flammarion, 1994. cap. 9; PRIGOGINE, Why irreversibility? The formulation of classical and quantum mechanics for nonintegrable systems - *Int. J. Quantum*

caos e irreversibilidade se deve à confusão no uso das palavras *objetivo* e *subjetivo*, associadas às palavras *probabilidade* e *entropia*. Bricmont argumenta que a maioria das especulações estabelecidas em “*La Nouvelle Alliance*” sobre as relações entre as ciências humanas e as naturais é enganosa e que as pessoas que trabalham em sociologia e psicologia têm muito pouco a aprender com o suposto “salto do newtonianismo para o prigoginiano”⁵⁷.

Para Bricmont, as idéias de Laplace e de Boltzmann merecem ser defendidas contra os erros de representação e compreensão⁵⁸. Além disso, vários trabalhos, e não somente os de Prigogine, possuem confusões conceituais, tais como os de Popper, Bergson, Lyotard, Baudrillard, Deleuze e Guattari⁵⁹.

Bricmont diz que não se trata de uma crítica a todo o trabalho de Prigogine ou à escola de Bruxelas, mas apenas de uma discussão de suas teses radicais, em particular a que afirma terem sido encontradas falhas fundamentais na visão de mundo científica e que é preciso repensar a noção de *lei da natureza*. Aliás, Bricmont considera que muitas das idéias desenvolvidas em torno de Prigogine são interessantes e seu trabalho apresenta grande inclinação para a descoberta de novas direções em física, quer em termodinâmica irreversível quer em fenômenos caóticos. Mas isso não coloca suas idéias sobre questões fundamentais para além da crítica⁶⁰.

Chemistry, 1995. v.53, p.106; PRIGOGINE, *La fin des certitudes*. Temps, chaos et les lois de la nature – Paris: Odile Jacob, 1996 *apud* Cf. BRICMONT, 2001. p.2.

⁵⁷ Cf. BRICMONT, 2001. p. 36-8.

⁵⁸ Cf. BRICMONT, 2001. p. 2.

⁵⁹ Cf. BRICMONT, 2001. p. 23-7.

⁶⁰ Cf. BRICMONT, 2001. p. 2-3.

Para Bricmont, a ciência está em perpétua “crise” porque é revisável. Mas a epistemologia do Iluminismo não é revisável⁶¹. O ceticismo na ciência se baseia em duas linhas de pensamento diferentes:

1. a primeira possui base nos argumentos da filosofia tradicional de Berkeley, Hume e Kant. Embora estes argumentos a priori sejam inteligentes, o progresso da ciência é tal que muitas pessoas não se envolvem com eles;
2. o segundo, conceitualmente diferente, tenta mostrar que a ciência chegou a um certo tipo de limite ou “tem de admitir” que não pode ir além. A mecânica quântica, o caos, o Big Bang ou o teorema de Gödel são geralmente citados para evidenciar estas declarações, mas trata-se de pura confusão e má-compreensão⁶².

Encerrando o artigo, Bricmont declara que “... *ciência e razão são tudo o que temos. Fora delas, não há esperança*”⁶³. Como se pode ver, ele rejeita totalmente a mudança de abordagem científica proposta por Prigogine e Stengers.

Capra⁶⁴, contrariamente a Bricmont, utiliza o conceito prigoginiano de *estrutura dissipativa* em sua tentativa de elaborar uma nova concepção dos sistemas vivos. Ele aborda o tema da nova compreensão científica do sistema vivo em todos os seus níveis – organismos, sistemas sociais e ecossistemas – e baseia-se numa nova percepção da realidade, com implicações para a ciência, a filosofia, as atividades comerciais, a política, a assistência à saúde, a educação e a vida cotidiana.

A crise intelectual da década de 20, devida à física quântica, reflete uma crise cultural, uma mudança de paradigma na ciência e na área social⁶⁵. Esse novo paradigma,

⁶¹ Cf. BRICMONT, 2001. p. 37-8.

⁶² Cf. BRICMONT, 2001. p. 38.

⁶³ “... *science and reason is all we have. Outside of them, there is no hope.*” BRICMONT, 2001. p. 38.

⁶⁴ Frijot Capra tem formação em física e atualmente se dedica a divulgar os conteúdos mais recentes em ciências como biologia e física e em filosofia.

⁶⁵ Cf. Capra, 1997. p. 5.

que concebe o mundo como um todo integrado, pode ser denominado “visão ecológica”⁶⁶. A percepção ecológica reconhece a interdependência de todos os fenômenos⁶⁷ e vê o mundo não como uma coleção de objetos isolados, mas como uma rede de fenômenos interconectados⁶⁸. No velho paradigma, a física é considerada modelo e a fonte de metáforas para as outras ciências, como escreve Descartes: “*Toda a filosofia é como uma árvore*”. “*As raízes são metafísica, o tronco é a física e os ramos são todas as outras ciências*”⁶⁹.

Segundo Capra, a mudança de paradigma na ciência implica uma mudança do ponto de vista da física para o das ciências da vida⁷⁰. A tese de Capra é a de que está emergindo uma teoria dos sistemas vivos consistente com o arcabouço filosófico da ecologia profunda, incluindo uma linguagem matemática apropriada e implicando uma compreensão não-mecanicista e pós-cartesiana da vida. A emergência e o aprimoramento da concepção de “padrão de organização” é fundamental para o desenvolvimento da nova maneira de pensar⁷¹.

A noção de *padrão* é central para o desenvolvimento do conceito de auto-organização e da nova matemática da complexidade. A noção de *auto-organização* origina-se do reconhecimento da rede como padrão geral da vida, aprimorada por Maturana e Varela na elaboração do conceito de *autopoiese*. A matemática da complexidade é uma matemática de padrões visuais – atratores estranhos, retratos de fase e fractais – analisados pela topologia que tem Poincaré como pioneiro⁷².

⁶⁶ O termo ecológico deve ser entendido e empregado num sentido mais amplo que o usual.

⁶⁷ Cf. Capra, 1997. p. 6.

⁶⁸ Cf. Capra, 1997. p. 7.

⁶⁹ “*All philosophy is like a tree*”. “*The roots are metaphysics, the trunk is physics, and the branches are all the other sciences*”. Capra, 1997. p. 12.

⁷⁰ Cf. Capra, 1997. p. 13.

⁷¹ Cf. Capra, 1997. p. 153.

⁷² Cf. Capra, 1997. p. 153-4.

Para Capra, a chave para uma teoria dos sistemas vivos consiste na síntese entre o estudo do padrão (forma, ordem, qualidade) e o estudo da estrutura (substância, matéria, quantidade). Capra segue a definição de *sistema vivo* elaborada por Maturana e Varela, que envolve as noções de *padrão de organização e estrutura*⁷³. Ele propõe entender a autopoiese como padrão de organização dos sistemas vivos, a estrutura dissipativa de Prigogine como estrutura dos sistemas vivos e a cognição caracterizada por Bateson como o processo da vida⁷⁴.

Capra fala sobre as estruturas dissipativas quando aborda o tema da estrutura dos seres vivos. Segundo ele, Prigogine descreve a estrutura de um sistema vivo como uma estrutura dissipativa, cuja ênfase principal reside na abertura dessa estrutura ao fluxo de energia e matéria. Esta proposta é, até certo ponto, oposta às idéias de Maturana, as quais descrevem o padrão da vida como uma rede autopoietica, com ênfase no fechamento organizacional desse padrão. Ao associar as duas abordagens, Capra considera o sistema vivo ao mesmo tempo como aberto e fechado. Assim, o sistema é estruturalmente aberto, mas operacionalmente fechado, ou seja, a matéria e a energia fluem continuamente através dele, mas o sistema mantém uma forma estável e o faz de maneira autônoma por meio da auto-organização. Segundo Capra, Prigogine introduz o termo “estrutura dissipativa” para acentuar a coexistência, aparentemente paradoxal, da mudança com a estabilidade.

Porém, como nem todas as estruturas dissipativas são sistemas vivos⁷⁵, Capra fornece, a título de ilustração, o exemplo de uma das estruturas mais simples, constituída por sistemas não-vivos: o vórtice de um fluido, melhor representado pelo redemoinho de água num sorvedouro. Um líquido que flui por um vórtice possui a

⁷³ Cf. Capra, 1997. p. 154.

⁷⁴ Cf. Capra, 1997. p. 156.

forma de espirais afuniladas que se estreitam⁷⁶. Uma análise da origem e progressão de um vórtice revela um grande número de fenômenos complexos. Ao escoar radialmente em direção ao sorvedouro, o fluxo aumenta a velocidade à medida que se aproxima dele sob a aceleração da gravidade, regime no qual se estabelece um fluxo contínuo e uniforme. Num certo instante, o fluxo deixa de ser uniforme e surgem pequenas irregularidades – movimentos do ar sobre a superfície do líquido e irregularidades no tubo de drenagem – que fazem um maior volume deste líquido se aproximar de um lado do ralo mais que de outro, gerando um movimento rotacional no fluxo em redemoinho⁷⁷.

As partículas do fluido são arrastadas para baixo e suas velocidades, radial e rotacional, aumentam. Estas partículas se aceleram devido à gravidade e adquirem velocidade de rotação à medida que o raio de rotação diminui. O resultado é um movimento das partículas para baixo em espiral, formando um tubo de linhas de fluxo que se estreitam. Este tubo também é chamado de *tubo de vórtice*⁷⁸. Como o fluxo é dirigido radialmente para dentro, o tubo é pressionado pelo líquido por todos os lados.

Capra mostra, utilizando a linguagem de Prigogine, que a rotação introduz uma instabilidade no fluxo, inicialmente uniforme. A gravidade, a pressão do fluido e o raio do vórtice que diminui combinam-se para acelerar o movimento de redemoinho para velocidades sempre crescentes⁷⁹. Porém, essa aceleração caracteriza um novo estado estável. A uma certa velocidade de rotação, atuam forças centrífugas, empurrando o líquido para fora do sorvedouro, convertendo-o num funil, gerando um furacão em

⁷⁵ Cf. Capra, 1997, p. 164.

⁷⁶ Cf. Capra, 1997, p. 154.

⁷⁷ Cf. Capra, 1997, p. 164-5.

⁷⁸ Cf. Capra, 1997, p. 165.

⁷⁹ Cf. Capra, 1997, p. 165.

miniatura em seu interior e criando estruturas não-lineares e complexas dentro do vórtice – ondulações, ondas e turbulências⁸⁰.

Ao final deste movimento, as forças⁸¹ se equilibram e resulta um estado estável, em que a gravidade mantém o fluxo de energia em maior grau e o atrito dissipa essa energia em menor grau. As forças atuantes se interligam em ciclos de auto-equilíbrio, dando estabilidade à estrutura do vórtice como um todo. Os furacões e tornados são exemplos ricos de estruturas dissipativas que surgem em condições atmosféricas especiais, nas quais os vórtices de ar em movimento giratório viajam a grandes distâncias, com grande poder de destruição, sem mudanças em suas estruturas⁸².

Uma célula pode ser vista como um “redemoinho químico”, isto é, *“como uma estrutura estável com matéria e energia fluindo continuamente através dela”*⁸³. Mas, numa célula, as forças e os processos são mais complexos. Num vórtice, as interações são mecânicas, com predominância da força da gravidade, enquanto numa célula as interações são químicas, ou seja, são ciclos catalíticos que agem como realimentação para o auto-equilíbrio⁸⁴. A origem da instabilidade em redemoinhos é mecânica, consequência do movimento rotatório inicial, enquanto na célula esta instabilidade é mais química que mecânica, originária dos ciclos catalíticos característicos dos processos metabólicos. Estes ciclos têm como propriedade a capacidade para atuar como realimentadores de auto-equilíbrio e auto-amplificação, podendo afastar o sistema do equilíbrio até alcançar o limiar de estabilidade, o chamado “ponto de bifurcação”⁸⁵,

⁸⁰ Cf. Capra, 1997. p. 165-6.

⁸¹ A aceleração da gravidade, a pressão e a força centrífuga.

⁸² Cf. Capra, 1997. p. 166.

⁸³ *“as a stable structure with matter and energy continually flowing through”*. Capra, 1997. p. 166.

⁸⁴ Cf. Capra, 1997. p. 166.

⁸⁵ Ver nota 86 do capítulo 2.

ou ponto de instabilidade em que novas formas podem emergir, desenvolver-se e evoluir espontaneamente⁸⁶.

As estruturas dissipativas só podem se manter estáveis se houver, através delas, fluxo estacionário de matéria do meio. Do mesmo modo, um organismo vivo necessita de um fluxo de ar, água e alimento proveniente do ambiente e passando pelo sistema para se manter vivo e em ordem. A vasta rede de processos metabólicos mantém o sistema em um estado longe do equilíbrio, dando origem a novas bifurcações, ao desenvolvimento e à evolução⁸⁷.

Na teoria dos sistemas vivos – associação entre padrão de organização autopoietico e estrutura dissipativa – o processo da vida é identificado com a cognição, implicando uma concepção nova da mente que promete superar a divisão cartesiana entre alma e corpo. Nesta teoria emergente, a mente não é uma coisa em si, mas um processo no qual a atividade organizadora dos sistemas vivos é a atividade mental. Deste modo, as interações de um organismo vivo com o meio são cognitivas ou mentais, imanentes à matéria em todos os níveis da vida⁸⁸.

Esta nova concepção é desenvolvida por Gregory Bateson e Humberto Maturana, na década de 60, independentemente. Na visão de Bateson, os processos mentais são uma consequência necessária e inevitável de uma certa complexidade que se inicia antes mesmo do organismo desenvolver cérebro e sistema nervoso superior. Além disso, a mente se manifesta também em sistemas sociais e ecossistemas⁸⁹.

Tanto Maturana quanto Bateson são influenciados pela cibernética, a partir da qual criaram a mesma concepção de mente. Porém, seus métodos e linguagens

⁸⁶ Cf. Capra, 1997. p. 166-7.

⁸⁷ Cf. Capra, 1997. p. 167.

⁸⁸ Cf. Capra, 1997. p. 167-8.

⁸⁹ Cf. Capra, 1997. p. 168.

diferem⁹⁰. O pensamento de Bateson se desenvolve em termos de padrões e de relações. Seu objetivo, como o de Maturana é descobrir o padrão de organização comum a todos os seres vivos. Para Bateson, as relações constituem a essência do mundo vivo como também é o modo como as pessoas pensam. Ele desenvolve sua teoria dos processos mentais partindo de observações do mundo vivo. Ao observá-los, reconhece a atividade mental como atividade organizadora da vida, concluindo daí que “*a mente é a essência do estar vivo*”⁹¹.

Entretanto, Bateson nunca se perguntou sobre a natureza da vida. Ao se fazer esta questão, Maturana deparou com outras duas: “Qual é a natureza da vida?” e “O que é cognição?”. A resposta à primeira questão – a autopoiese – fornece o arcabouço teórico para responder à segunda. O resultado é uma teoria sistêmica da cognição, desenvolvida por Maturana e Varela, e por vezes chamada de *teoria de Santiago*⁹².

Nesta teoria, o cérebro não é necessário para que haja cognição, pois uma bactéria ou uma planta não o têm, mas são capazes de perceber mudanças em seu meio ambiente e, portanto, de cognição. Esta nova concepção de *cognição*, mais ampla que a tradicional, estende-se desde as capacidades dos organismos unicelulares até os atributos da mente humana. A teoria de Santiago fornece, assim, o primeiro arcabouço científico coerente que supera a dualidade cartesiana, pois mente e matéria são concebidas como representando as diferentes dimensões do fenômeno da vida⁹³. Na teoria de Santiago, a relação entre mente e cérebro é clara. A mente é um processo e o

⁹⁰ Cf. Capra, 1997. p. 168-9.

⁹¹ ... “*the mind is the essence of being alive*”. Capra, 1997. p. 169.

⁹² Cf. Capra, 1997. p. 170.

⁹³ Cf. Capra, 1997. p. 170.

cérebro é uma estrutura na qual esse processo opera. Temos, portanto, uma relação entre estrutura e processo⁹⁴.

A nova síntese entre mente, matéria e vida envolve a interdependência entre padrão e estrutura, permitindo integrar as duas abordagens da compreensão da natureza. A interdependência entre processo e estrutura tenta resolver a cisão entre matéria e mente, estabelecida desde Descartes. Juntas, essas unificações fornecem as três dimensões conceituais interdependentes para a nova compreensão científica da vida: padrão, estrutura e processo⁹⁵. Como se pode ver, Capra procura integrar as estruturas dissipativas numa visão de mundo transdisciplinar que se aproxima bastante das idéias defendidas por Prigogine e Stengers em *A Nova Aliança*.

Não vamos tomar uma posição neste debate. Estamos diante de novas perspectivas e aberturas para formas de conhecimento diferentes daquelas fornecidas pelas ciências tradicionais. Mas elas ainda estão em processo de elaboração e não se pode dizer se são adequadas ou não. Diante destas novas propostas, resta esperar, pois só o tempo dirá quem tem razão.

⁹⁴ Cf. Capra, 1997. p. 170-1.

⁹⁵ Cf. Capra, 1997. p. 171.

Conclusão

Procurei, nesta dissertação, apresentar as idéias de Prigogine e Stengers sobre a metamorfose da ciência e suas principais consequências filosóficas.

No primeiro capítulo, na seção “O Projeto da Ciência Moderna” foi apresentada a análise de Prigogine e Stengers concernente às duas hipóteses sobre o surgimento da ciência moderna. A primeira corresponde ao confronto das explicações de mundo fornecidas por Galileu e os aristotélicos. O primeiro apresenta uma ciência capaz de desvelar a verdade da natureza, reduzindo a sua diversidade e complexidade a fenômenos simples, ao contrário do que fazem os últimos. A segunda hipótese liga o surgimento da ciência moderna ao diálogo experimental, baseado no saber dos artesãos e construtores de máquinas da Idade Média. Isto leva a uma síntese entre manipulação e transformação, que permite prever, modificar, utilizar e explorar a natureza, negando as concepções antigas. Desde então, a singularidade da ciência moderna fica caracterizada pela interação da teoria com a técnica, fornecendo um procedimento sistemático que interroga a natureza, a qual foi preparada em função de uma hipótese que a força a dizer se ela corresponde ou não à mesma. Porém, as relações entre ciência e cultura, estabelecidas por este diálogo, evidenciam um desencantamento do mundo. Tudo o que nele é descrito torna-se ameaçado pelo *espírito científico*, que a tudo domina, transformando o mundo num modelo manipulável e o homem em seu senhor. Isto é denunciado de formas variadas por Lèvi-Strauss, que mostra que os homens de outras

eras já se organizavam, exploravam, conheciam e possuíam habilidades para sobreviver; por Heidegger, que evidencia a vontade de poder por trás do saber científico; por Koyré, que critica o saber newtoniano; por Popper, que fala do sucesso da ciência como um fato histórico; e por Snow, que caracteriza este processo como ruptura cultural e o chama de *terceira cultura*.

Em “A Identificação do Real”, foram mostrados os pontos fortes e as fraquezas da ciência clássica. Como pontos fortes, destacamos a união da física (Kepler, Galileu) com a matemática (cálculo infinitesimal). A partir da formulação das leis de movimento de Newton através da união das leis de Kepler com a da lei da queda dos corpos de Galileu e da criação do cálculo infinitesimal, torna-se possível o estudo do problema dinâmico, no qual as equações diferenciais possibilitam a descrição de uma sucessão de estados do sistema por trajetórias no espaço-tempo. Para viabilizar esta descrição, são fornecidos dados empíricos como condições iniciais, a partir das quais se descrevem as posições e velocidades do corpo e as forças que atuam no sistema, deduzindo o seu estado a cada instante. A dinâmica newtoniana revela uma dupla universalidade, que estende, por um lado, a lei da gravidade aos movimentos dos corpos em escala atômica e astronômica e que aplica, por outro lado, o determinismo à descrição de cada ponto que constitui o sistema, concluindo que o único sistema dinâmico é a totalidade do Universo. Como várias forças podem interagir no sistema, sem, contudo, modificar a forma da lei, chega-se aos três atributos da trajetória dinâmica, quais sejam, a *legalidade*, o *determinismo* e a *reversibilidade*. Ao serem contrapostos o devir dinâmico e devir natural, observa-se que o primeiro tem como fonte da mudança no movimento dos corpos a colisão entre os átomos. Seu objetivo é descrever os movimentos destes corpos semelhantemente aos movimentos dos astros. No atomismo da antiguidade, o movimento dos átomos pode ter mais de uma explicação. A explicação dinâmica

consiste em evidenciar a inutilidade do sobrenatural na descrição dos processos naturais. Outro aspecto importante consiste no demônio de Laplace, que surge como símbolo do sucesso da descrição dinâmica e projeta esta etapa da ciência como marco e limite.

Os pontos fracos da ciência clássica surgem quando o homem, que descreve este mundo, a história e a complexidade, desaparece frente à descrição dinâmica. Assim, a ciência clássica descobre, em seu interior, fenômenos que não consegue explicar, tornando frágil a concepção mecanicista do mundo.

Em “As Duas Culturas”, foram apresentados os argumentos de Diderot e de Stahl contra o abandono do vitalismo em nome do mecanicismo. Foram mostradas as idéias do romantismo contra o autômato e a favor do discurso do ser vivo, bem como o surgimento da filosofia crítica de Kant, estabelecendo critérios que diferenciam o mundo da lei moral e o da lei matemática. O conflito estabelecido entre o reducionismo, enquanto descrição mecânica do mundo, e o não-reducionismo, enquanto tentativa de explicar a complexidade da natureza, mostra a existência de duas culturas distintas, cada uma das quais tentando explicar a natureza de modo coerente. Foram apresentadas as idéias de Hegel contra o reducionismo científico, através da formulação das leis da dialética, constituindo-se numa filosofia exigente e rigorosa para abarcar o tempo e a complexidade. Foi mostrado ainda como a intuição bergsoniana e a cosmologia whiteheadiana propõem uma nova perspectiva, na qual o homem está inserido na natureza e o tempo é visto como suporte para a multiplicidade e a diversidade. Mas é Merleau-Ponty quem mostra as consequências da divisão de saberes entre ciência e filosofia, afirmando que esta repartição deixa para a ciência o lugar de estudo da natureza, delegando à filosofia a subjetividade humana e a história. Merleau-Ponty apresenta a filosofia de Whitehead como uma possibilidade de retorno à filosofia da natureza e como reconciliação entre permanência e devir, mostrando que ciência e

filosofia devem se encontrar na cultura, para dar lugar a um tempo que permita a inserção do homem enquanto natureza.

No segundo capítulo, procurou-se mostrar como, de acordo com Prigogine e Stengers, o desenvolvimento da ciência do calor introduz uma nova visão de movimento, diferenciada da concepção newtoniana. Na seção “A Energia e a Era Industrial”, foram apresentados os argumentos sobre o advento das máquinas térmicas e a mudança do paradigma da gravitação para o do calor. Este último instaura uma nova visão de mundo, de caráter cosmológico, baseada nos conceitos de *entropia* e *flecha do tempo* e confere uma nova direção aos processos naturais. A ressonância cultural foi muito grande, produzindo uma nova concepção do homem como máquina energética, da sociedade como motor e da natureza como energia. Isto tudo evidencia uma natureza criadora e produtora de diferenças qualitativas. Clausius fornece uma interpretação da termodinâmica que apenas afirma a existência dos processos irreversíveis, sem tentar defini-los. Com isso, ele consegue dar um caráter cosmológico aos princípios da termodinâmica. Estes avanços mostram a importância cultural da redescoberta do tempo em diversas áreas, como as evoluções geológicas, das sociedades, das espécies, da moral, da sociedade, do gosto e da linguagem, implicadas pelo surgimento de fenômenos irreversíveis. Boltzmann também inova em física, com a aplicação do conceito de *probabilidade* e com a interpretação do crescimento irreversível da entropia como desordem molecular, fazendo da termodinâmica irreversível e do estado atrator, respectivamente, a direção e o estado para o qual as estruturas físicas tendem.

Assim, a descoberta dos processos irreversíveis aponta para novos aspectos do conceito de *tempo*, a partir dos quais vários campos de investigação formulam idéias sobre equilíbrio, complexidade e probabilidade, culminando com a formulação do princípio de ordem de Boltzmann, em sistemas abertos, fechados e em equilíbrio, e

apresentando, ainda, as descrições em biologia, ciências da sociedade e da cultura como inovações.

Na seção “Os Três Estágios da Termodinâmica”, foram analisados os três domínios da termodinâmica, cujo estudo constituiu três etapas sucessivas de seu desenvolvimento. O primeiro domínio corresponde ao estado de equilíbrio, ou nulo, para os fluxos e as forças. No segundo, as forças são fracas e o fluxo de calor mantém uma relação linear com estas forças, mas o sistema se encontra perto do equilíbrio. O terceiro estabelece relações mais complexas com as forças termodinâmicas e está longe do equilíbrio. O conceito de *estrutura dissipativa*, surgido da termodinâmica não-linear, corresponde a uma forma de organização, partindo de estados de desordem e longe do equilíbrio, possibilitando comportamentos qualitativamente diferentes, tais como aqueles encontrados no mundo orgânico. Neste momento, o desenvolvimento da termodinâmica encontra-se com a biologia molecular. Os sistemas vivos passam a ser vistos como campo privilegiado para o estudo experimental das estruturas dissipativas. Novos modelos são estudados e neles a estrutura homogênea do tempo é destruída nos chamados *pontos de bifurcação*, pois estes são instáveis. Uma pequena perturbação pode conduzir o sistema por caminhos nos quais surgem novos estados de equilíbrio, abrindo espaço para as idéias de *escolha* e *decisão*. Este é o regime das flutuações, em que o sistema em conjunto é levado pelas diversas bifurcações a um comportamento dentre vários possíveis, quebrando a simetria do espaço-tempo e estabelecendo as noções de *história*, de *estrutura* e de *atividade funcional*, que possuem o não-equilíbrio como fonte. Nestes sistemas é que as estruturas dissipativas estabelecem as noções de *organização* e *solidariedade das funções biológicas*, as quais se aproximam daquelas fornecidas por Aristóteles. Assim, as estruturas dissipativas abrem a perspectiva para a concepção de uma ordem biológica compatível com a complexidade do sistema vivo,

superando o conflito entre reducionistas e não-reducionistas, pondo fim à idéia de simplicidade do todo do qual se deduzem as partes e restabelecendo a antiga noção de organização hierárquica.

Na seção “Ordem por Flutuações”, foi mostrado que o desenvolvimento da física põe em questão o princípio de ordem de Boltzmann. Agora, não são mais os comportamentos individuais que desempenham um papel decisivo, mas sim as flutuações num sistema longe do equilíbrio e composto por um grande número de interações. Há uma transformação radical das relações entre os níveis macro e microscópico. A ordem por flutuações também conduz ao estudo do acaso e da necessidade e das zonas de bifurcação, em que um comportamento individual pode perturbar o estado médio do sistema. Os comportamentos são considerados “perigosos” quando surgem do caos e conduzem à ordem, aproveitando-se das relações não-lineares que asseguram o estado médio. Isto conduz à interpretação do acaso e da necessidade fornecida por Jacques Monod, para quem o homem está consciente de sua condição de solidão no universo, rompendo a velha aliança com a natureza. No contexto da física dos processos irreversíveis, os resultados da biologia passam a ter significados diferentes. A partir de agora, o ser vivo funciona num domínio em que os processos desempenham um papel construtivo e são fonte de ordem. Aqui, a idéia de lei universal cede lugar à de exploração de estabilidades e de instabilidades singulares. A alternativa proposta por Monod é desnecessária. O desafio se mostra, assim, como o ultrapassamento do abismo entre o tempo reduzido à identidade da lei e o tempo dos processos complexos, como articulação entre a ciência do ser e a do devir.

No terceiro capítulo, foi mostrado como, para Prigogine e Stengers, a renovação dos conceitos na física conduzem a uma abertura, apresentando a irreversibilidade e a indeterminação como regras. Na seção “O Choque das Doutrinas”, foi explicado como o

afrontamento entre dois universos conceituais, o da dinâmica e o da termodinâmica, conduz a uma nova ciência que opera com incertezas e indeterminações nos estados dos sistemas na natureza. Foi mostrado que uma das principais características da dinâmica clássica é fazer uma descrição das trajetórias dos corpos no espaço. As leis dinâmicas reversíveis constituem a referência para matematizar a natureza. Porém a irreversibilidade coloca a dinâmica como um caso particular, porque ela não está equipada para operar a complexidade dos processos naturais, nos quais a singularidade das estruturas dissipativas e a história gerada pelas várias bifurcações apresentam atividades que fornecem uma história distinta entre passado e futuro. Assim, a irreversibilidade fornece dois tipos de devir. O primeiro está suspenso no passado e tende ao equilíbrio. O segundo está aberto ao futuro, é o das estruturas dissipativas, que promovem as singularidades aleatórias. Boltzmann pode ser comparado a Darwin, ao descrever a evolução física das moléculas com base não em um indivíduo, mas em uma população. Poincaré e Loschmidt criticam o trabalho de Boltzmann. O primeiro o faz quanto à simetria das equações formuladas por Boltzmann, que contradizem as da dinâmica, ao introduzirem a probabilidade. O segundo faz uma objeção quanto ao modelo cinético de Boltzmann, pois, contrariamente às colisões dinâmicas, este não é válido para inversão das velocidades. A teoria dos conjuntos de Gibbs tenta resolver o problema, associando as leis da dinâmica à visão estatística. Ela introduz a ignorância do observador com relação às condições iniciais, inaugurando a interpretação subjetivista da irreversibilidade. A evolução recente da termodinâmica aumenta mais ainda o seu choque com a dinâmica. A pretensão da dinâmica em reduzir a termodinâmica a um conhecimento aproximado é impossível. Mas também é impossível negar a dinâmica com base na irreversibilidade. Temos, pois, dois mundos em conflito: o das trajetórias e o dos processos.

Todavia, no fim do século XIX, a distância entre a dinâmica e a termodinâmica diminui drasticamente. Ela já permite tentar construir uma ponte para uni-las, ligando a ciência do “ser” à do “devir”.

Na seção “A Renovação da Ciência Contemporânea”, foi mostrado que as sínteses da dinâmica e da termodinâmica envolvem diferenças que levam a uma nova maneira de ver a história da ciência, sublinhando uma natureza mutável e em evolução. A relatividade e a mecânica quântica contribuem para impor limites ao observador, modificando o conceito de *objetividade* e apresentando paradoxos para o comportamento da matéria, mostrando uma realidade rica e passível de escolha de pontos de vista diferenciados. O estabelecimento das constantes universais renova o conceito de *objetividade* em física, pois, enquanto a mecânica aplica as leis gerais a qualquer escala de objetos, a relatividade faz a distinção entre velocidades pequenas e velocidades comparáveis à da luz. A mecânica quântica também contribui para o abandono de um referencial fixo. Ela identifica os corpos “pesados” com conjuntos macroscópicos de átomos e introduz as “propriedades ondulatórias” que exprimem um caráter coletivo para os movimentos. Após as conquistas de Planck, Einstein, de Broglie, Bohr e Heisenberg, entre outros as pesquisas constataam a insuficiência dos conceitos da dinâmica clássica pela evidência da impossibilidade lógica da obtenção de valores bem determinados simultaneamente para as posições e velocidades das partículas. Os trabalhos de Planck e Bohr estabelecem o abandono do realismo clássico devido à escolha da operação de medida para descrever um fenômeno quântico, implicando uma definição prévia do sistema a ser medido, redefinindo o conceito de objetividade devido às perturbações introduzidas pela operação de mensuração. Bohr enfatiza a idéia positiva de uma escolha necessária, que diz respeito à linguagem e ao conjunto de conceitos macroscópicos usados para solicitar uma resposta ao sistema.

Como nenhuma preparação pode esgotar a realidade do sistema, todas as linguagens possíveis são complementares. Na complementaridade, a realidade é rica e não está confinada a uma única linguagem, estrutura lógica ou formulação conceitual. Cada uma delas exprime uma parte do real, uma escolha de um ponto de vista.

Na seção “A Síntese do Simples e do Complexo”, foi mostrado que a tentativa de reduzir a natureza a explicações simplificadas e reducionistas conduz a ciências a descrições de uma natureza aberta que leva em consideração várias interpretações dos fenômenos. A idéia da simplicidade do microscópico é desmentida diante do procedimento de medida do fenômeno quântico e pela descoberta de que a evolução dinâmica não é suficientemente descrita por trajetórias. Este cenário apresenta uma nova síntese para a descrição temporal, na qual a dinâmica e a probabilidade aparecem como contraditórias e discordantes, como no caso da transformação do padeiro, que conduz a uma equação determinista, a uma descrição probabilista e a uma interpretação irreversível. Chega-se à descrição macroscópica da termodinâmica através do cálculo das medidas nas equações de probabilidade. A mecânica quântica se encontra numa posição entre a teoria clássica dos conjuntos e a teoria clássica das trajetórias. Mas a mecânica quântica e a dinâmica clássica se distanciam da dinâmica das trajetórias por razões diferentes. Na dinâmica clássica, as trajetórias surgem como muito “desordenadas” e “independentes”. Na mecânica quântica, as trajetórias vizinhas dependem umas das outras. Assim, a física das trajetórias é vista como uma ilha cercada por instabilidades e pela coerência quântica.

No quarto capítulo, foi apresentado um balanço da metamorfose da ciência anunciada por Prigogine e Stengers e feita uma discussão das idéias destes autores. Na seção “O Fim da Onisciência”, foi mostrada a crise no próprio seio da ciência, que surge quando ela tenta descrever e encerrar a natureza em modelos simplificados, cujo alcance

não consegue esgotar o objeto. Isto leva ao enfraquecimento do conceito de *realidade objetiva* e impõe uma abertura ao diálogo com uma natureza imperfeita e imprevisível num mundo em construção. Estas novas perspectivas mostram estruturas da natureza que se acham mais próximas das concepções dos pré-socráticos e de Aristóteles, para as quais o crescimento, a corrupção, a inteligibilidade e a incerteza se encontram inseparáveis, fornecendo a imagem de uma natureza que não pode ser prevista com segurança. As idealizações e seu caráter de onisciência, tanto das trajetórias quanto do demônio de Laplace, não sustentam mais a idéia de precisão das condições iniciais que definem um sistema num estado único. A redução da natureza ao modelo matemático se depara com seus próprios limites na física contemporânea, levando à constatação de que a realidade objetiva é constituída por novidade e diversidade, tanto no nível macroscópico quanto no microscópico. Desta forma, a ciência passa a descrever uma natureza aberta à imprevisibilidade, ao conhecimento imperfeito e ao controle insuficiente, destacando um diálogo com um mundo aberto e em construção.

Em “A Metamorfose da Ciência”, foram apresentadas as consequências da transformação da ciência segundo Prigogine e Stengers. A primeira corresponde à retomada do tempo, através de aspectos como as flutuações, as bifurcações e as instabilidades. A segunda constitui a retirada do referencial absoluto e a impossibilidade do movimento perpétuo, colocando as perspectivas para uma natureza com a qual é possível comunicar-se através de uma atividade orientada no tempo, em que cada observador se torna simultaneamente ator e espectador. Como terceira consequência, foi apresentada uma natureza reconciliada, na qual homem e natureza se equivalem e em que as coisas nascem, crescem e morrem. A quarta consequência evidencia a abertura científica para a história, na qual a biologia desempenha um importante papel. A quinta corresponde ao novo caráter das interrogações científicas e à idéia de

complementaridade dos saberes, fazendo convergir cultura, filosofia e ciência. Como última consequência da metamorfose da ciência, surgem as perspectivas de um novo “estado de natureza” o qual não pode negar as evidências de abertura para um tempo de novas alianças.

Em “Uma Questão em Aberto”, finalmente, mostrei que as teses de Prigogine e Stengers são controversas. Bricmont, por exemplo, formula uma crítica contra a aplicação indevida das idéias destes autores a domínios diferentes do conhecimento científico, acreditando que este só é bem interpretado por iniciados, defendendo a idéia de um saber fechado e enraizado, sem possibilidades de diálogo. Por outro lado, Capra adota as idéias de Prigogine e Stengers sobre as estruturas dissipativas, tecendo uma rede transdisciplinar entre as diversas áreas do conhecimento, com o objetivo de aprimorar a compreensão dos sistemas vivos. Suas idéias tentam sistematizar a concepção de uma natureza não-reducionista e não-dualista, em que a matéria e a vida se estruturam, se organizam e emergem como processos. Resta, portanto, aguardar pelo julgamento do tempo, para avaliarmos o destino da nova aliança anunciada por Prigogine e Stengers.

Bibliografia

ABBAGNANO, Nicolla. Dicionário de Filosofia – Rio de Janeiro: Mestre Jou, 1982.

BARROS, Haroldo L. C. Química Inorgânica: Uma introdução – Belo Horizonte: Editora UFMG, 1992.

BERGSON, Henri. La Pensée et le Mouvant in: Ouvres – ed du Centenaire – Paris: P.U.F., 1979.

_____. Mélanges. Paris: P.U.F., 1972.

BRICMONT, Jean. Science if Chaos or Chaos in Science? Disponível em: <http://www.fyma.ucl.ac.be/files/UCL-IPT-96-03.ps.gz> Acesso em 24 mai. 2001.

BRICMONT, Jean e SOKAL, A. Imposturas Intellectuais – Rio de Janeiro: Record, 1999.

BRUSH, S. Irreversibility and Indeterminism: From Fourier to Heisenberg, *Journal of the History of Ideas*, vol. 37, pp. 603-30, 1976.

CAPRA, Fritjof. The Web of Life: A New Sybtheseis of Mind and Matter – London: Flamingo, 1997.

DELEUZE, G. Différence et répétition – Paris: P.U.F., 1972.

ELKANA, Y. "Boltzmann's Scientific Research Program and its Alternatives" in: Introduction Between Science and Philosophy – Atlantic: Humanity Press, 1974.

ENGELS, F. L'Anti-Dübring – Paris: Éditions sociales, 1971.

HALLIDAY, David (et alii). Física 2 – 4ª ed – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

HEIDEGGER, Martin. “*La question de la technique*” in: Essais et conférences – Paris: Gallimard, 1958.

HUSSERL, E. L’Encyclopedia Universalis – Paris. repris avec “La crise de l’humanité européenne et la philosophie – Paris: Paulet, 1975.

KANT, Emmanuel. Crítica da Razão Pura – 3ª ed – São Paulo: Nova Abril (Os Pensadores), 1988.

KOYRÉ, Alexandre. Études Newtoniennes – Paris: Gallimard, 1968.

KUHN, Thomas. The Structure of Scientific Revolutions – Chicago: The University Press, 1970.

LAPLACE, P. S. Essais philosophiques sur les probabilités – Paris: Christian Bougois, 1968.

LÈVI-STRAUSS, Claude. “*Race et Histoire*” in: Anthropologie Structurale 2 – France: Librairie Plon, 1973.

LUCRÉCIO. De la Nature [Tradução: Ernout, A.] – Paris: Las Belles Lettre, 1972.

MERLEAU-PONTY, Maurice. “Le philosophe et la sociologie” in: Éloge de la philosophie, Coleção Idées – Paris: Gallimard, 1960.

_____. Résumés de Cours 1952-1960 – Paris: Gallimard, 1968.

MONOD, Jacques. Le Hasard et la Nécessité – Paris: Seuil, 1970.

PESSOA JÚNIOR, Oswaldo. Notas de aula: Fundamentos da Mecânica Quântica. – São Paulo: IFUSP, 1992.

POINCARÉ, H. “La mécanique et l’expérience” in: *Revue de Metaphysique et Morale*, vol. I. p. 534-37, 1893.

POPPER, Karl. *Objective Knowledge* – Oxford: Clarendon Press, 1927.

POSHUSTA, Ron. “*Brusselator*” in: *Oscillating Chemical Reactions*. Disponível em: <http://www.sci.wsu.edu/idea/OscilChem/> Acesso em 9 de mai. de 2003.

PRIGOGINE, Ilya. *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Process* – New York: Interscience Publishers, a division of John Wiley & Sons, 1967.

_____. *From being to becoming: time and complexity in the physical science* – San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980.

_____. *Order out of Chaos: Man’s new dialogue with nature* – Toronto: Bantam Books, 1984.

_____. *O Nascimento do Tempo* – Lisboa: Edições 70, 1988.

_____. *O fim das certezas, caos e as leis da natureza* – São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista – (Biblioteca básica), 1996.

_____. *As leis do caos* – São Paulo: Editora UNESP, 2002.

PRIGOGINE, I. e STENGERS, I. *La Nouvelle Alliance* – Paris Gallimard, 1979.

_____. *Entre o tempo e a eternidade* – São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

SCHRÖDINGER, Erwin. article publié dans *The British Journal for the Philosophy of Science*. vol. 3, 1952.

SERRES, Michel. *La Naissance de la physique das le text de Lucrèce* – Paris: Minuit, 1977.

SNOW, C.P. *Les deux cultures* – Paris: Pauvert, 1968.

TARDE, G. Écrits de psychologie sociale in: ROCHEBLAVE-SPENCE, A. M. et MILET, J. – Toulouse: Privat, 1973.

WHITEHEAD, A. N. Process and Reality: An Essay in Cosmology. The Free Press – New York: Mac Millan, 1969.