FÁBIO PALÁCIO DE AZEVEDO

FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS DA TEORIA DA INFORMAÇÃO

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontificia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Comunicação e Semiótica, sob orientação do Prof. Dr. Jorge de Albuquerque Vieira.

BANCA EXAMINADORA

"À Universidade Brasileira, que, apesar de todos os percalços, luta para sobreviver e contribuir."

"Ao povo brasileiro; que sua luta por liberdade seja, afinal, vitoriosa."

AGRADECIMENTOS

A meus pais – José Raimundo Araújo de Azevedo e Maria Benedita Palácio de Azevedo – e a todas as demais pessoas que comigo partilham a convivência familiar.

À Marize, meu "tesouro encantador", pelo incentivo, lealdade e compreensão.

Ao Prof. Jorge Albuquerque Vieira, pelas colaborações e pela paciência.

Aos eternos amigos Edvar Bonotto, Cristiano Capovilla, Marlom Wolff, Ricardo Abreu "Alemão", Orlando Silva Jr., Ronaldo Carmona, Wadson Ribeiro, Aldanny Resende, Marcus Vinícius, Josberto Rodrigues, Odair José, Luís Alfredo, José Carlos e Mardem Ramalho, pelas discussões das quais brotaram muitas das idéias deste trabalho, e, também, porque a amizade é das mais preciosas coisas da vida.

Aos camaradas João Amazonas, Renato Rabelo, Pedro Oliveira, José Reinaldo Carvalho, Olival Freire Jr. e José Carlos Ruy, cujas histórias de vida, marcadas pela luta e pela abnegação, servem para mim de exemplo e inspiração na imensa caminhada da existência.

À Pontificia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq) e ao Partido Comunista do Brasil (PCdoB).

Enfim, a todas as pessoas e instituições que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

"Desejo de saber Todo mundo tem, E quem pensa que sabe Também não sabe também"

Humberto, compositor popular do Bumba-Boi de Maracanã (São Luís-MA)

Análise do sistema axiomático da Teoria da Informação do ponto de vista de suas idéias filosóficas subjacentes e de suas implicações epistemológicas. Expõe-se o sistema axiomático da Teoria da Informação na forma como enunciado por C. Shannon. Elucida-se a concepção de objetividade do conhecimento subjacente à Teoria da Informação. Identificam-se os principais problemas epistemológicos colocados pelos conceitos de informação e entropia, relacionando-os a categorias da Teoria do Conhecimento tais como determinismo, causalidade e previsibilidade. Analisa-se o desenvolvimento desses conceitos na História da Filosofia. Situa-se a Teoria da Informação no contexto da História da Ciência, abordando-a como uma das disciplinas do século XX que respaldam uma concepção materialista de tipo renovado, moderno, flexível e não-metafísico.

ABSTRACT

Analysis of the axiomatic system of Information Theory through the point of view of its underlying philosophical ideas and of its implications. epistemological The axiomatic system InformationTheory is exposed in the form as enunciated by C. Shannon. The knowledge objectivity conception underlying to the Information Theory is elucidated. The main epistemological problems brought by the concepts of information and entropy are identified, relating them to categories of Knowledge Theory such as determinism, causality and previsibility. The development of those concepts is analyzed in the **Philosophy History**. The Information Theory is allocated in the context of the **Science History**, approaching it as one of the disciplines of the XXth century that strengthen a materialistic conception of renewed type, modern, flexible and non-metaphysician.

Sumário

INT	TRODUÇÃO	9
CA	PÍTULO 1 - AXIOMÁTICA DA TEORIA DA INFORMAÇÃO	17
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 1. 1.	SISTEMAS REGRAS E CONCEITOS MATEMÁTICOS FUNDAMENTAIS CONCEITO MATEMÁTICO DE INFORMAÇÃO RESTRIÇÕES FIXAS E PROBABILÍSTICAS A LEI DOS GRANDES NÚMEROS DE BERNOULLI ESTOCASTICIDADE, PROCESSOS MARKOV E ERGODICIDADE O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E SUAS PARTES ENTROPIA INFORMACIONAL REDUNDÂNCIA TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÃO TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÃO EM PRESENÇA DE RUÍDO INFORMAÇÃO CONTÍNUA QUESTÕES SEMÂNTICAS	18 22 25 30 32 33 38 42 44 46 54
	PÍTULO 2 - IMPLICAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DO CONCEITO DE FORMAÇÃO	70
2	. ALGUMAS VISÕES SOBRE A INFORMAÇÃO	74). 78
	PÍTULO 3 - IMPLICAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DO CONCEITO DE TROPIA	89
2 3	. HISTÓRIA DO CONCEITO DE ENTROPIA	PIA 100 105
CA	PÍTULO 4 - OBJETIVIDADE: A FILOSOFIA COM A PALAVRA	126
2	. Primórdios da Noção de Objetividade	142
CO	NCLUSÕES	220
BIE	BLIOGRAFIA	219
2	. SOBRE TEORIA DA INFORMAÇÃO	

INTRODUÇÃO

Quando Claude Shannon enunciou, em 1948, os 23 teoremas que estabeleciam a **mensurabilidade** da transmissão de informação, talvez ainda não fosse plenamente consciente da importância daquelas proposições e do caráter interdisciplinar que viriam a alcançar.

De fato, a possibilidade de quantificação da informação – definitivamente estabelecida com os estudos de Shannon – constitui-se em uma das maiores conquistas da Ciência no século XX, abrindo possibilidades antes apenas sugeridas para a otimização técnica da comunicação humana.

Warren WEAVER assinala os antecedentes históricos da obra de Shannon afirmando que

os trabalhos do Dr. Shannon enraízam-se, como Von Neumann observou, nas conclusões de **Boltzmann**, relativas a seus trabalhos em Física Estatística em 1894 ... **L. Szilard** expandiu esta idéia a uma argumentação geral da informação na Física, e **Von Neumann** elaborou sobre informação na Mecânica do Quantum ... Os trabalhos do Dr. Shannon, porém, têm conexão mais direta com certas idéias desenvolvidas há uns vinte anos passados por **H. Nyquist** e **R.V.L. Hartley** ... (1975: p. 3).

Portanto, os trabalhos de Shannon remetem a hipóteses anteriores já trabalhadas por Boltzmann, Szilard e Von Neumann na Física, e por Nyquist e Hartley na própria Ciência da Comunicação. Estes dois últimos haviam estabelecido a medida da informação pela quantidade de **liberdade de escolha** necessária à identificação de um elemento em uma fonte (ponto de vista do emissor), ou pelo seu grau de **imprevisibilidade** desse elemento (ponto de vista do receptor).

Os procedimentos de Hartley, porém, eram insuficientes para dar conta dos complexos fenômenos relacionados à transmissão de informação, já que, por tratarem apenas de casos ideais

(eqüiprobabilidade dos elementos de um repertório), só excepcionalmente encontravam aplicação.

Em Nyquist e Hartley a quantidade de informação dependia apenas da "potência" (número de elementos 'n') do repertório, e era dada pelo logaritmo de 'n'. Sua **sintaxe** reduzia-se, com isso, a uma simples **combinatória**. Esse raramente é o caso encontrado nas linguagens naturais ou mesmo artificiais, nas quais não só os elementos lingüísticos não são eqüiprováveis, como também não são independentes entre si (há entre os signos dependências seqüenciais de cunho lógico).

Para dar conta das insuficiências da teoria de Nyquist e Hartley, Shannon generalizou suas hipóteses para casos de não-eqüiprobabilidade, utilizando para isso o instrumental matemático da **Ciência Estatística**. Por que definir um **conceito estatístico de informação**? Porque "o sistema deverá ser projetado de modo a operar com qualquer das possíveis seleções a serem efetuadas, e não unicamente com aquela que foi escolhida, posto que isto é desconhecido quando projetamos o sistema" (SHANNON, 1975: p. 33). Diz ainda SHANNON a respeito:

Se uma fonte pode produzir apenas uma pré-determinada mensagem ... nenhum canal se faz necessário. Por exemplo, uma máquina de computação pode ser ajustada para calcular os dígitos sucessivos do número π . Nenhum canal é necessário para "transmitir" esse resultado de um local a outro. Poderíamos apenas construir uma segunda máquina ... (1975: p. 66)

Assim, a **informação** de um evento Ai é, na teoria estatística da informação, fornecida por sua **probabilidade** P(i). As relações entre informação e probabilidade ficam explicitadas através das seguintes propriedades:

- a) A única variável que determina a informação de um evento elementar é sua probabilidade: IA(i) = F(Pi);
- b) Um acontecimento necessário possui informação nula: F(1) = 0.
 Em decorrência disso, a informação associada a uma tautologia é sempre zero.

- c) A informação é função inversa da probabilidade: Se P(i)<P(j), então F(Pi)>F(Pj);
- d) A informação de um evento impossível tende ao infinito: P(i) = 0
 → I A(i) → ∞ e
- e) A informação contida na conjunção de dois acontecimentos é expressa através da soma das informações desses acontecimentos: F(Pi.Pj)=F(Pi)+F(Pj). Essa condição só é satisfeita pelas funções **logarítmicas**, que transformam em soma o produto de dois números.

Shannon possibilidade Com isso, abria а de tratamento cientificamente rigoroso do conceito de informação, através da introdução de escalas quantitativas e de funções aplicáveis a entidades nãométricas. A matematização daí decorrente trazia consigo diversas vantagens, em particular a unificação de procedimentos experimentais, permitindo com isso comparações de resultados obtidos em diferentes dimensões do processo comunicativo. A Ciência da Comunicação chegava, assim, ao elemento valorativo comum, à unidade abstrata do fenômeno comunicacional, da mesma forma que a Economia Política já havia, um século antes, unificado quantitativamente o conceito de trabalho, passando a tratá-lo independentemente de sua forma fenomênica.

Como vimos acima, a teoria de Shannon possui diversos antecendentes na Matemática e na Física. Mas muito pouco tem-se falado de seus antecedentes na tradição filosófica. A tese de que as decisões são conceitos binários, e, portanto, mensuráveis, remonta mesmo a Francis Bacon. Daí porque essa noção é lembrada por muitos como "Teorema Fundamental de Bacon".

Mas há ainda outros aspectos da Teoria da Informação que a fazem estabelecer profundos elos com a Filosofia da Ciência. Conforme lembra MOLES a Teoria da Informação "ultrapassa, desde o começo, o ponto de vista técnico, e se apresenta desde já como uma das grandes teorias da Ciência" (1969: p. 13). Com efeito, ela apresenta amplas conexões interdisciplinares e, conseqüentemente, profundas implicações para a Ciência como um todo. Alguns chegam mesmo a postular que a Teoria da

Informação aspira à condição de disciplina universal, isto é, de **método** do pensamento científico. Veremos a seguir em que medida isso é verdadeiro.

O objeto deste trabalho é portanto o **sistema axiomático** da Teoria da Informação analisado do ponto de vista de suas principais **implicações epistemológicas**. Isso quer desde já significar que não estamos diante de um trabalho técnico, mas de um trabalho com pretensões essencialmente filosóficas. Buscaremos aqui generalizações epistemológicas apoiadas nos diversos conceitos e enunciados da Teoria da Informação, com privilégio para os conceitos matemáticos de informação e entropia e para o teorema 9 de Shannon, que enuncia o princípio da razão de transmissão.

A pesquisa filosófica a respeito dos fundamentos de uma Ciência pode ser feita basicamente a partir de dois prismas: o da Teoria do Conhecimento ou **Gnoseologia** e o da **Ontologia**. Há geralmente muita confusão semântica a respeito dos conceitos de Gnoseologia e Ontologia, daí a importância de definir o que entendemos por esses termos.

Em nosso entendimento, o problema fundamental da Ontologia é o da relação entre **Ser** e **Pensar**, ou entre Matéria e Idéia, questão genérica o suficiente para extrapolar mesmo os limites da Ciência, colocando-se como problema filosófico '**puro**'.

Já a Teoria do Conhecimento ou Gnoseologia centra sua análise no chamado "problema do conhecimento", que é o problema da relação entre **sujeito** e **objeto**. A Gnoseologia constitui-se, portanto, em **afunilamento** da Ontologia para dentro da problemática do conhecimento, ou, o que dá no mesmo, constitui-se em **aspecto** da Ontologia quando se enfoca exclusivamente problemas do âmbito do conhecimento.

ENGELS sintetiza muito bem a relação entre Ontologia e Gnoseologia quando afirma:

A questão do pensar e do ser tem ainda um **outro** lado: como se comportam nossos pensamentos diante do mundo que nos rodeia para com esse mesmo mundo? Está o nosso pensar em condições de conhecer o mundo real, podemos nós produzir, em nossas representações e conceitos do mundo real, uma imagem especular correta da realidade? Esta questão chama-se, na linguagem filosófica, a questão da identidade de pensar e ser, e é respondida afirmativamente pelo maior número de filósofos. (1982, p. 389)

Mas onde situar a **Epistemologia** no quadro da distinção feita acima? Da mesma forma que a Gnoseologia é uma restrição do campo da Ontologia à análise do conhecimento, a Epistemologia representa também um afunilamento, isto é, uma restrição da Gnoseologia à análise exclusiva do conhecimento científico. De fato, podemos falar de uma gnoseologia da arte, da religião ou até mesmo do conhecimento popular, pois todas estas últimas são formas de conhecimento (embora nem sempre de conhecimento racional). Já a Epistemologia é tão-somente a **Gnoseologia da Ciência**, de modo que, no âmbito deste trabalho – o qual trata exclusivamente de problemas da Ciência – empregaremos os termos Epistemologia e Gnoseologia como tendo exatamente o mesmo sentido.

A relação entre **Ontologia** e **Epistemologia** vem sendo abordada pela **ciência do século XX** de forma inteiramente nova. A Ciência como um todo vem progressivamente abdicando do problema ontológico em sua forma 'pura' e tratando-o cada vez mais apenas no que diz respeito à Epistemologia. Quer isso significar que a Ciência tem deixado de perguntar **o que é** um objeto para questionar-se sobre **como podemos conhecê-lo**. Acreditamos ser esta tendência salutar e até inevitável, pois a realidade vai aos poucos mostrando que a Ontologia, se discutida à parte da Ciência, como coisa dela desvinculada, degenera em mero problema metafísico.

Identificar os **fundamentos epistemológicos** de um sistema axiomático é o mesmo que situar esse sistema na História da Ciência, assinalando o que nele é ganho para a Ciência e para a Teoria do Conhecimento como um todo. MOLES resume bem isso ao afirmar que "A Filosofia esgota as noções científicas para delas tirar noções universais. É sob esse aspecto que se interessa por toda teoria sintetizante" (1969: p. 290).

O problema do conhecimento segue hoje como questão fundamental de qualquer Filosofia da Ciência. Apesar das inúmeras tentativas de afastá-lo ou de considerá-lo um "problema superado", ele sempre volta a insinuar-se por detrás das teorias científicas e dos sistemas filosóficos,

como a mostrar que não pode ser simplesmente afastado como uma teia de aranha. A **vitalidade** desse problema reside na própria natureza do conhecimento, em seu caráter ao mesmo tempo **uno** e **contraditório**. Ao desenvolver-se, a Ciência está sempre recolocando o problema epistemológico, como que a exigir respostas novas e sempre mais avançadas para esse problema.

A Teoria da Informação é uma disciplina que leva ao **limite** a reflexão epistemológica sobre a possibilidade do conhecimento. A informação é um objeto de tipo inteiramente novo, cujo conteúdo semântico faz-se ausente aos sentidos. De fato, a informação não diz respeito a quaisquer coisas 'materiais', mas à **organização** dessas coisas, à forma como aparecem conjugadas. Trata-se portanto de um objeto de tipo heurístico-abstrato, o qual, por paradoxal que pareça, confirma inequivocamente a possibilidade de conhecimento objetivo do mundo. Isso é em síntese o que pretendemos provar com este trabalho.

As generalizações epistemológicas a respeito da Teoria da Informação serão aqui respaldadas em opiniões consolidadas na História da Filosofia a respeito da **objetividade** do conhecimento. Será essa categoria o 'fio de ariadne' que nos orientará no labirinto dos sistemas filosóficos.

A objetividade resume em si o problema fundamental do conhecimento. Trata-se de um conceito relativo à **correspondência** entre um pensamento e a realidade que se propõe representar. Se a determinado pensamento corresponde uma realidade objetiva, isto é, uma realidade apreensível pelo sujeito em sua essência, diz-se desse pensamento que é um **conhecimento objetivo**.

O conceito de objetividade pode gerar a impressão de estarmos diante de um problema ontológico. Em nossa visão, porém, esse é um conceito do âmbito da **Teoria do Conhecimento**. Mas não há dúvida de que, dentre as categorias gnoseológicas, é a objetividade a que mais diretamente revela nexos com a problemática ontológica. Diríamos mesmo que, através dela, a Ontologia insinua-se claramente por **dentro** da Teoria do Conhecimento. Isso ocorre porque o conceito de objetividade envolve

questões intimamente relacionadas à Ontologia, como, por exemplo, o que de fato entendemos por 'realidade'.

O conceito de objetividade será, portanto, nosso mais geral fio condutor. Mas essa noção nem sempre comparecerá desta forma. Na Ciência, ela se fará presente muitas vezes através de conceitos auxiliares, dentre os quais os de **determinismo**, **causalidade** e **previsibilidade**. Na Filosofia também o debate sobre a objetividade toma inúmeras vezes outras formas, como a da discussão sobre a verdade ou, até mesmo, a da "inocente" questão dos universais, formato sob o qual a escolástica medieval travava o debate sobre a possibilidade do conhecimento.

Buscaremos verificar, ao mesmo tempo, como as diversas correntes filosóficas se posicionam em relação a esses problemas e, também, de que forma as novas descobertas da Ciência afetam inevitavelmente o debate da tradição filosófica a respeito desses temas.

Uma advertência faz-se necessária quando lidamos com problemas filosóficos. Cremos em que o pensamento não se constrói ou se movimenta através de **autores** singularizados, mas por intermédio de **correntes**. E, para identificar epistemologicamente uma corrente, não cremos ser necessário o conhecimento minucioso da série dos autores que a compõem. O que temos a fazer é selecionar um ou alguns autores representativos dessa corrente em sua essência. Foi o que procuramos fazer, selecionando autores cruciais relacionados à tradição grega, ao empirismo clássico, ao empirismo crítico e à dialética idealista e materialista.

A análise do problema do conhecimento a partir da tradição filosófica lança luz sobre os problemas epistemológicos suscitados pela Teoria da Informação. Essa análise revela uma teoria que traduz a mentalidade **contraditória** de seu tempo, onde modernas concepções coexistem lado a lado com velhos pressupostos. Por um lado, a Teoria da Informação revela um caráter essencialmente atomístico e exploratório, pressupostos relacionados a uma visão mecânica do mundo, onde as partes determinam o todo e não o contrário. No mesmo passo, porém, a Teoria da Informação situa-se entre as disciplinas que, no século XX,

deram lugar a um novo paradigma científico-filosófico: o de que o conhecimento não é um processo absoluto, mas probabilístico. "O conceito de verdade passa a ser encarado sob um ângulo novo, alargando-se ... e dinamizando-se – o que dá, exemplificativamente, ao afirmar que a verdade, num experimento, só pode ser delimitada em termos de alta probabilidade" (MASER, 1969: p. 24).

Dentro dessa forma nova de encarar a Ciência, surgida no século XX, "resolver **problemas** equivale a manipular **processos**" (MASER, 1975: p. 29). Passa a ser rejeitada a compartimentação em favor da idéia de integridade das disciplinas em uma visão dinâmica do mundo. Disso podemos concluir que a Teoria da Informação, embora não tenha a pretensão de abordar aspectos qualitativos, posto que é uma teoria matemática, traz contudo em si, de forma velada importantes aspectos qualitativos que revelam as mais diversas implicações para a Ciência como um todo.

Capítulo 1

AXIOMÁTICA DA TEORIA DA INFORMAÇÃO

Em 1677 Leibniz formulava seu "Programa de Cálculo", nos moldes dos "Elementos de Euclides". Nessa obra era lançada a Teoria Axiomática, que logo se tornou um ideal perseguido por todas as ciências.

A rigidez do ideal axiomático leibniziano recebeu, no decorrer do século XX, as mais diversas críticas, em particular às suas exigências de consistência e completude. De fato, a Teoria Axiomática, que tem como pressuposto a determinação dos enunciados básicos, é baseada no princípio de identidade e em uma visão estática de mundo, refletindo a mentalidade mecanicista do século XVII. Apesar disso, segue sendo um modelo de grande utilidade para a pesquisa dos fundamentos de qualquer Ciência, na medida em que enumera com clareza seus elementos constituintes centrais.

Segundo a Teoria Axiomática, toda ciência é composta de um conjunto de:

 a) Conceitos. Podem ser básicos – não-definidos, fixados por meio de explicação – ou derivados – fixados por meio de definição. A

- explicação é uma forma "fraca" de definição. O conteúdo de um conceito é também sua extensão;
- b) Enunciados. Podem ser de dois tipos: os axiomas que são os enunciados básicos – e os teoremas, extraídos dos axiomas através das
- c) regras de inferência.

No ideal axiomático leibniziano, o conjunto desses elementos deve revelar três propriedades:

- a) Consistência. Uma teoria só pode demonstrar um enunciado 'a' ou seu contrário '~a';
- b) Completude. Qualquer enunciado de uma teoria deve ser deduzido apenas de seus axiomas e conceitos;
- c) Independência. Significa a redução ao mínimo do número de pressupostos não-definidos, e
- d) Evidência. È uma forma "fraca" de demonstração, apoiada na "simplicidade formal" ou "clareza dos pressupostos". A evidência é pressuposto complementar da independência, o que quer dizer que um ocorre às custas do outro.

Os fundamentos de uma Ciência correspondem ao conjunto de suas explicações, definições e axiomas. A Ciência propriamente dita compreende os teoremas. A Teoria da Informação é uma teoria científica inteiramente axiomatizada. Apresentaremos neste capítulo o sistema axiomático da Teoria da Informação, isto é, seu sistema de conceitos, enunciados e regras de inferência. Começaremos com algumas definições de base.

1. Sistemas

Na medida em que tem por objeto sistemas de comunicação, uma primeira definição cara à Teoria da Informação é a de **Sistema**. Entendemos aqui por Sistema qualquer conjunto munido de uma estrutura. Já Cantor esclarecia que toda reunião de elementos Ai configura um conjunto. Um sistema, porém, não é um conjunto qualquer, mas um conjunto **organizado**, sendo essa organização dada por um

conjunto de propriedades e relações entre os elementos Ai – os chamados 'parâmetros sistêmicos', como a propriedade de crescimento do número de elementos, a complexidade, etc.

Se abstrairmos significado e aplicações, restam os chamados "sistemas formais": a sintaxe, na condição de teoria de possíveis sistemas sintáticos, é, portanto, uma teoria matemática de sistemas – que engloba, como caso especial, a Lógica ... Um sistema de cunho matemático, usualmente identificado a um cálculo (D. Hilbert) é uma teoria formalizada, é uma forma vazia (H. Weyl) que se presta à descrição de vários sistemas equivalentes. (MASER, 1975: P. 59)

Entende-se por **espaço de fase** de um sistema o conjunto de todas as suas possíveis configurações. O espaço de fase tem estrutura probabilística, isto é, todo ponto (configuração) do espaço de fase tem uma determinada probabilidade – a probabilidade de achar o sistema naquela configuração.

Um **sistema abstrato** pode ser pensado como uma classe de equivalência sob isomorfismo. Corresponde a um conjunto de pontos que cumprem o papel do espaço de fase, em que cada conjunto razoável tem uma probabilidade (que não muda com o movimento dos subconjuntos) e segue uma regra que nos diz para onde um ponto se moverá em 't' unidades de tempo.

Dizemos que o sistema a é um **fator** do sistema b se há uma correspondência de muitos-para-um do espaço de fase de b para o de a, onde conjuntos correspondentes têm a mesma probabilidade e evoluem no mesmo sentido.

Após abstrair as propriedades estatísticas e ignorar todas as outras, dois sistemas são considerados o mesmo quando vistos como sistemas abstratos se, depois de ignorarmos conjuntos ou eventos de probabilidade zero, há uma correspondência de um-para-um entre os pontos de seus espaços de fase, de forma que os conjuntos correspondentes têm a mesma probabilidade e evoluem na mesma direção. Sistemas que se encaixam nessa definição são chamados **isomórficos**.

Há várias formas de classificação de sistemas. Em primeiro lugar, os sistemas podem ser **estáticos ou dinâmicos**. A Teoria da Informação trabalha com sistemas de comunicação, um tipo de sistema dinâmico.

A ciência clássica faz a pesquisa formal apenas de sistemas estáticos. Hoje, a pesquisa formal já examina sistemas dinâmicos – que se alteram com o passar do tempo.

Podemos pensar de um sistema dinâmico que obtemos de um processo casual como um modelo abstrato para o mínimo mecanismo capaz de produzir tal processo. Se começamos com um sistema dinâmico e fazemos uma medida (que pode ser função do espaço de fase), então podemos pensar o resultado da medida em vários tempos como um trajeto de amostra de um processo estacionário. (ORNSTEIN, V 243: p. 184)

Questões sobre como se modifica o estado de um sistema dinâmico, para onde leva a alteração e se pode esta ser influenciada por objetivos pré-fixados são respondidas a partir de algumas definições gerais básicas. "Um sistema dinâmico é um transformador de estado" (MASER, 1975: p. 205). Ou seja: nele um elemento de entrada (input) é convertido em um elemento de saída (output). Geralmente a notação matemática da entrada é feita com a letra 'i', enquanto que para a saída costuma-se utilizar a letra 'j'. Tarefa básica da teoria de sistemas é examinar o que se passa no interior desse transformador, de modo a esclarecer as alterações de estado do sistema.

Outra forma de classificação de sistemas é quanto à sua **complexidade**. Podemos nesse sentido distinguir primeiramente os sistemas simples: são de pequena complexidade e inteiramente determinísticos, como uma moeda ou um interruptor. Há também os sistemas complexos, que possuem múltiplos aspectos mas são ainda assim passíveis de descrição, como é o caso do sistema planetário. Os sistemas complexos são determinísticos ou probabilísticos. Por fim temos os sistemas mais-que-complexos. Tais sistemas são inteiramente probabilísticos e não são passíveis de descrição precisa, como o cérebro humano. Têm como características a relativa indeterminação e a imensa variedade.

Quanto à **previsibilidade**, temos primeiramente os sistemas completamente previsíveis. Neles, as medidas (até aquelas de precisão finita) são previsíveis no sentido de que, se as fazemos em intervalos regulares de tempo, o passado determina inteiramente o futuro.

Já um sistema não-completamente previsível geralmente possui algumas medidas previsíveis e outras não. Não ser completamente previsível significa o mesmo que ter sensibilidade às condições iniciais.

Portanto, o grau de previsibilidade caracteriza o nível de acaso presente no sistema. Além dos sistemas completamente previsíveis (onde o conhecimento do passado nos diz tudo sobre o futuro) e dos sistemas não-completamente previsíveis (em que o conhecimento do passado não nos diz tudo sobre o futuro), ORNSTEIN (V. 243: p. 186) enumera ainda os chamados Sistemas "K", nos quais o conhecimento do passado nos diz arbitrariamente pouco sobre o longo prazo, e os Sistemas Bt, também conhecidos como "fluxos de Bernoulli", onde praticamente nada podemos saber sobre o longo prazo.

Há sistemas complexos que ilustram o que chamamos "caos determinístico", isto é, sistemas que evoluem de acordo com as leis de Newton mas não obstante parecem ser casuais. Isso indica que, como assevera J. WICKEN (1987: p. 33), processos casuais nem sempre surgem de uma matriz casual.

Dissemos acima que todo sistema implica em uma **estrutura**. Mas o que é estrutura? Se há equivalência (isomorfismo) entre sistemas, ou seja, entre conjuntos e suas ordens correspondentes, dizemos que tais sistemas possuem um conjunto de propriedades e relações, ou, em suma, uma estrutura, em comum.

Órbitas individuais dos espaços de fase de sistemas caóticos podem ser extremamente instáveis e irreprodutíveis. Por outro lado, para muitos sistemas desse tipo podemos provar que o sistema como um todo é estável. Esse fenômeno recebe o nome de **estabilidade estrutural**.

2. Regras e Conceitos Matemáticos Fundamentais

A Teoria da Informação trabalha com um conjunto de parâmetros sistêmicos mensuráveis através de um instrumental relativamente novo na história da matemática: a Teoria das Probabilidades. Essa parte da aritmética contém as regras que tornam possível enunciar os 23 teoremas básicos que constituem o corpo da Teoria da Informação na forma enunciada por Claude Shannon em 1948.

Apresentamos a seguir algumas noções matemáticas básicas relacionadas ao uso da noção de probabilidades.

Somatório – Designado pela letra grega \sum (Sigma), indica soma. Na expressão $\sum_{i=1}^{n}$, o elemento i, situado abaixo de sigma, indica o limite inferior da soma. O elemento n, situado acima de sigma, indica o limite superior.

Média – Tendo-se um conjunto com A(i) elementos, a média numérica do conjunto é dada por

$$\frac{1}{n}\sum A(i)$$

Média ponderada – Tipo de cálculo de média em que é tomada a proporção de cada elemento do conjunto e multiplicada pelo número de vezes em que esse elemento comparece. O somatório desses produtos fornece a média numérica ponderada de um conjunto. A proporção de cada elemento no conjunto é chamada "fator de ponderação". O uso de fatores de ponderação permite o 'arredondamento' dos números médios.

Potenciação – Indica quantas vezes um número deve ser multiplicado por si mesmo. Possui as seguintes propriedades:

1.
$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$2. \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

3.
$$a^o = a^{m-m} = \frac{a^m}{a^n} = 1$$

$$4. (a^m)^n = a^{m \cdot n}$$

5.
$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$$

Logaritmo – Versão contrária ou operação inversa da potenciação. Ou seja: se $a^x = b$, então $x = log_a b$

Há basicamente três tipos de bases logarítmicas. Os logaritmos comuns são calculados na base 10. Os naturais ou neperianos têm a base 'e', uma constante com valor aproximado de 2,718. Na Teoria da Informação os logaritmos utilizados têm base 2.

Os logaritmos possuem as seguintes propriedades:

1.
$$log_x m + log_x n = log_x (m \cdot n)$$

2.
$$\log_x m - \log_x n = \log_x \left(\frac{m}{n}\right)$$

3.
$$n \cdot log_x m = log_x m^n$$

4.
$$log 1 = \phi$$

A **análise combinatória** é uma parte da matemática bastante afim com a Teoria das Probabilidades. Dela é possível deduzir, como veremos a seguir, a fórmula básica para a mensuração da informação.

O problema fundamental do cálculo combinatório é o de determinar, dado certo número n de elementos, todas as formas possíveis de agrupálos. Para isso usa-se o cálculo fatorial, designado matematicamente pelo símbolo '!' (fatorial).

O problema mais simples no âmbito da análise combinatória é o das permutações. Ele pode ser enunciado da seguinte forma: quantas combinações são possíveis em uma seqüência de n elementos? A resposta é: *n!*, isto é, *1 x 2 x 3 ... x n*.

A partir do cálculo fatorial, é possível resolver ainda problemas um pouco mais complexos, como o da determinação do número de permutações de n elementos cada qual surgindo apenas i vezes, ou o da determinação do número de classes que podem ser formadas com n elementos de um conjunto, respeitando ou não a ordem dos elementos e permitindo ou não repetições de elementos.

Mas a noção matemática mais cara à Teoria da Informação é mesmo a noção de **probabilidades**.

No cálculo sentencial clássico existem apenas dois valores (V ou F). Contudo, na grande maioria das situações, não podemos afirmar com certeza quaisquer dos dois valores. Nessas situações de eventos importância dinâmicos. não-consumados, ganha idéia de probabilidades. Isso ocorre porque a análise de desse tipo de evento não é possível com apenas dois valores (V ou F). Ela só se torna viável com o uso de modalidades associadas a esses valores (necessário, possível, contingente ou impossível). A Teoria das Probabilidades permite a tradução dessas modalidades, de conceitos qualitativos que são, em entidades numéricas. "A Lógica das probabilidades torna-se, pois, um organón apropriado para o exame de processos, ou eventos em transformação" (MASER, 1975: p. 91).

A Teoria das Probabilidades trabalha com dois conceitos fundamentais: o de evento e o de probabilidade.

Chama-se **evento** a qualquer resultado de experimento, observação ou prova, isto é, a qualquer fato derivado de pesquisa ou busca. Uma busca (ou ensaio) é cada realização de uma série de condições ou circunstâncias, compreendendo um conjunto de possíveis ocorrências ou resultados. Esse conjunto é chamado "conjunto-evento".

Se um evento pode ou não manifestar-se sob condições determinadas, diz-se dele que é um evento **aleatório**.

Dois eventos Ai e Aj são **independentes** se os resultados de ensaios relacionados ao primeiro evento não alteram as condições que atuam sobre ensaios relacionados ao segundo evento. Dois eventos Ai e Aj são **dependentes** se a ocorrência de um influencia a de outro. No caso de

eventos dependentes fala-se em probabilidades condicionais Pi(j) (lê-se Pj com i dado). Uma forma bastante peculiar de dependência dá-se quando os eventos são mutuamente excludentes, situação em que Pi(j) = 0.

Segundo GOLDMAN (1953: p. 2), **probabilidade** é o número fracional de vezes em que um evento ocorre em um grande número de repetições independentes de uma mesma situação original. Matematicamente falando, uma probabilidade é dada pela razão entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis. A probabilidade é sempre um número entre 0 (improbabilidade total) e 1 (probabilidade máxima, certeza absoluta).

As probabilidades possuem algumas propriedades básicas. A negação é dada por $P(\sim Ai) = 1 - P(Ai)$. A conjunção, isto é, a probabilidade de ocorrência de dois eventos independentes (A e B), é igual ao produto de suas probabilidades: $P(A \land B) = P(A).P(B)$. Já a disjunção, probabilidade de ocorrência de dois eventos mutuamente excludentes (A ou B) é igual à soma de suas probabilidades: $P(A \lor B) = P(A) + P(B)$. Se os eventos não são mutuamente excludentes, a disjunção é dada por P(A) + P(B) - P(A).P(B). Por fim, a probabilidade da alternativa de dois eventos (ou A ou B) é dada por P(A) + P(B) - 2.P(A).P(B).

3. Conceito Matemático de Informação

Como afirmamos acima, a Teoria da Informação abre a possibilidade de tratamento cientificamente rigoroso do conceito de informação, na medida em que permite mensurá-lo através da aplicação da idéia de probabilidades.

Para que possa ser quantificada, a informação deve ser tratada em um sentido puramente seletivo, deixando de lado o problema semântico da significação. Com efeito, a Teoria da Informação não se propõe medir a significação, conceito associado aos símbolos em sua dimensão semântica. Ao invés disso, a teoria fundada por Hartley e aprimorada por Shannon e Weaver fornece a possibilidade de mensurar a **complexidade** de uma mensagem, a qual não pode ser encontrada nos símbolos em si, mas na

forma como aparecem organizados. Segundo SHANNON, "aspectos semânticos da comunicação são irrelevantes ao problema da engenharia. A faceta significativa é aquela em que a mensagem real tenha sido selecionada dentre um grupo de possíveis mensagens" (1975: p. 33). Portanto, é o conceito de seletividade que permite lançar mão de uma definição cientificamente rigorosa de informação. Embora essa definição não seja semântica, ela pode ser utilizada para fins semânticos, na medida em que a análise quantitativa de mensagens pode perfeitamente servir de instrumento para a análise do conteúdo dessas mensagens.

A **informação seletiva** é aquela requerida para a identificação de um elemento em um conjunto dado. WEAVER afirma que, no sentido seletivo, "Informação ... não se relaciona tanto àquilo que você realmente diz quanto ao que você poderia dizer" (1975: p. 9).

O conceito de informação seletiva, elaborado por C. Shannon, apesar de ser o mais largamente utilizado, não é o único conceito matematicamente definível de informação. Há outras maneiras de conceituar essa entidade, com destaque para a noção de "informação algorítmica" de Kolmogorov-Chaitin.

A abordagem de Kolmogorov-Chaitin preenche uma importante lacuna da Teoria de Shannon, na medida em que, ao contrário desta última, permite calcular quantidades diferentes de informação para mensagens idênticas compostas de modos diferentes. A teoria de Kolmogorov-Chaitin descreve a complexidade informacional de mensagens individuais calculando o menor programa possível capaz de computá-las, vindo daí o termo 'teoria da complexidade algorítmica'.

Assim, se n é a duração de uma seqüência e C(n) sua complexidade, C(n) ≤ n; se é igual a seqüência é dita casual. A complexidade informacional é um tipo de complexidade algorítmica, e tem na abordagem de Kolmogorov-Chaitin o mesmo papel que a entropia na teoria de Shannon. Enquanto que na primeira a entropia tem uma natureza algorítmica, na última ela tem uma natureza estatístico-probabilística.

O que estamos mensurando quando medimos a informação? Essa questão já sugere a proximidade de problemas filosóficos. Pois, na medida em que nos perguntamos sobre qual a realidade por detrás de tal ou qual sistema de medida, ou sobre qual a natureza de tal ou qual conceito matemático, é a problemática ontológica que se insinua por meio da análise do conhecimento.

Porém, foge ao escopo do presente capítulo o tratamento de problemas epistemológicos, daí porque nos limitaremos a responder à questão acima enumerando alguns termos que na maioria dos autores surgem associados ao **conceito de "informação"**.

Nesse sentido, o valor matemático da informação corresponde ao grau de imprevisibilidade ou de novidade na ocorrência de um elemento, conceitos opostos aos de redundância e inteligibilidade. Ou seja: quanto maior a quantidade de informação contida em um elemento, mais imprevisível e surpreende ele é, e menor é sua inteligibilidade e sua redundância. Inversamente, baixas taxas de informação correspondem à mais alta inteligibilidade e à maior previsibilidade.

Já a **informação média** (também chamada "entropia", como veremos em detalhes à frente) corresponde ao grau de liberdade, de complexidade (multiplicidade de possíveis complexões) ou de homogeneidade estatística de um sistema informacional, como um alfabeto, por exemplo.

A definição matemática da informação é feita através do emprego do logaritmo das probabilidades. Essa expressão é utilizada para fornecer a quantidade de escolhas (entre elementos ou entre conjuntos) necessárias à identificação de um elemento em um conjunto de elementos possíveis. Utilizemos de início um exemplo bastante simples: se a mensagem for selecionada dentre um grupo de dois sinais eqüiprováveis, sua probabilidade de ½. Logo, há ½ de probabilidade de o sistema se apresentar naquela complexão.

Calculamos então o - Log ½ = Log 2 (o sinal negativo serve apenas para transformar em número natural a fração que expressa a probabilidade). Esse cálculo, evidentemente, depende da base do logaritmo, que contém o número de dígitos (ou de escolhas). Essa base é a responsável pela determinação da **unidade de medida** da informação. Se adotarmos, por exemplo, a base 10, a unidade será dada em dígitos decimais. Poderíamos ainda adotar os logaritmos neperianos ou naturais, mas eles são costumeiramente usados apenas no cálculo infinitesimal. A Teoria da Informação adota o dois como base, o que significa que a informação é medida em dígitos (ou escolhas) binárias. A unidade de informação seletiva é o 'bit', abreviação para o termo em inglês 'binary digit', sugerido por John Tuckey.

A equação da quantidade de informação em uma mensagem recebida é dada pelo logaritmo da razão entre a probabilidade, no receptor, da ocorrência depois do recebimento da mensagem e a probabilidade, no receptor, da ocorrência antes do recebimento da mensagem. Ou seja:

$$I = Log \frac{Pi(j)}{Pj}$$

A equação é escrita dessa forma porque a mensagem recebida é sempre diferente da enviada, contendo uma quantidade a mais de informação denominada ruído.

Em primeira análise, porém, trabalharemos com a hipótese de que não haja ruído. Neste caso, o numerador da razão citada acima é igual a 1.

O número de mensagens possíveis em um repertório de x elementos é fornecido por x^n (onde n é igual à duração da mensagem).

Como nos mostra MOLES (1969: p. 45-48), se temos uma mensagem sendo composta à velocidade constante de N por segundo, podemos deduzir uma fórmula para a quantidade de informação dessa mensagem. Ao final de um tempo t, teremos N.t elementos, dos quais N.Pi.t serão elementos i (Pi é a probabilidade do i-ésimo elemento).

É possível mostrar, através da análise combinatória, que há (N.t)! maneiras de arranjar os N.t símbolos. Havendo N.Pi.t símbolos i, há então (N.Pi.t)! formas de arranjá-los que proporcionam uma mensagem idêntica. Podemos a partir daí provar que há (N.t)/(N.Pi.t)! mensagens verdadeiramente diferentes umas das outras, sendo a probabilidade de se obter uma dessas mensagens igual a N.pi.t !/N.t!. A informação fornecida por essa mensagem será, portanto, de

$$I = -\frac{Log(N.pi.t)!}{(N.t)!}$$

Calcular logaritmos de fatoriais é coisa extremamente complexa e trabalhosa, o que praticamente inviabilizaria o cálculo de quantidades de informação, caso não houvesse outra maneira de enunciar a fórmula acima.

Felizmente há uma expressão conhecida como **Fórmula de Stirling**, precioso artificio matemático que permite desenvolver os logaritmos de fatoriais do seguinte modo:

$$Log p! = p Log p - p$$

Teríamos então

$$I = -\{ N.Pi.t Log N.Pi.t - N.t Log N.t - \sum N.Pi.t + N.t \}.$$

Se N = 1 símbolo por segundo, temos então que Sigma N.Pi.t = N.t. Com isso, os dois últimos termos da equação desaparecem e temos:

$$I = - \{ N.Pi.t Log N.Pi.t - N.t Log N.t \}.$$

Sendo N.t constante, podemos abolir o termo N.t Log N.t, pois:

$$N.Pi.t Log N.Pi.t = N.t Pi Log Pi + Nt Log Nt.$$

Ficamos então ao final com a equação:

$$I = -N.t$$
 Pi Log Pi.

Essa expressão significa que a informação é proporcional ao tempo t e à densidade N de elementos (por espaço ou por tempo). Além disso, ela depende ainda da extensão n do repertório e da forma de uso (isto é, da freqüência), dos elementos, dada pela probabilidade Pi.

Já a **taxa média R de informação**, distinta da quantidade total de informação transmitida pelos N.t elementos é dada por R = I/t = - N Sigma Pi Log Pi. Se N=1 símbolo por unidade de tempo temos

$$R = -\sum Pi Log Pi$$
.

Shannon mostra ser possível ainda calcular a duração de uma mensagem não pelo número de elementos mas pela duração distinta de cada um deles, supondo que suas durações variem no tempo (Cf. GOLDMAN, 1953: p. 8).

4. Restrições Fixas e Probabilísticas

No caso em que há constrangimentos ou restrições (regras, gramática) como resultado de relações lógicas entre eventos, não podemos simplesmente, como veremos em detalhes mais à frente, somar o logaritmo das probabilidades de símbolos discretizados para obter a informação total trazida pela mensagem.

Se houver **restrições fixas** (o próximo elemento da mensagem depende inteiramente do anterior) reduz-se bastante o número de mensagens possíveis. Em sistemas de código com restrições fixas de duração finita (como o código morse), vale a regra segundo a qual o número de diferentes possíveis mensagens em uma seqüência de longa duração T cresce exponencialmente com T.

O fato de que essa regra vale também para sistemas com **restrições probabilísticas** (como as linguagens naturais) constitui-se na lei matemática básica que torna possível o desenvolvimento de uma teoria matemática rudimentar sobre a transmissão de informação.

As restrições probabilísticas (o próximo elemento da mensagem não depende inteiramente do anterior) também reduzem, como as fixas, o número de mensagens possíveis de dada duração.

5. A Lei dos Grandes Números de Bernoulli

Dizer que algo tem ½ de probabilidade de ocorrência significa dizer que, em uma longa série de lances, esse evento tende a ocorrer em metade das vezes.

De acordo com a regra segundo a qual o número de mensagens possíveis em uma seqüência T aumenta exponencialmente com T, a fórmula para o cálculo da probabilidade de que todos os lances de uma seqüência de cara ou coroa com duração n dêem cara é de $(\frac{1}{2})^n$, um número muito pequeno, mas determinado. Como o número de possíveis arranjos aumenta com n, é pequena a probabilidade de ocorrência de caras em todos os lances de uma seqüência de tamanho razoável.

Se contudo n=1, a probabilidade de que todos os lances dêem cara é de 50%.

Em relação ao jogo de cara ou coroa, ao alongar qualquer seqüência de lances da moeda podemos perceber que aumenta a possibilidade de termos ½ de caras e ½ de coroas.

Se a moeda é viciada, os elementos do repertório não serão eqüiprováveis. Caso a probabilidade de caras e de coroas, em uma moeda viciada, seja respectivamente de ¾ e ¼, a seqüência que concentrará a máxima probabilidade de ocorrência será aquela em que comparecerem, em vinte lances por exemplo, 15 caras e 5 coroas.

Consequentemente, ao aumentarmos a duração de uma sequência, estamos aptos a saber não só qual a sequência de maior probabilidade, mas também qual a sequência cuja probabilidade aproxima-se de zero (no exemplo dado, geralmente será aquela cujo número de caras ou de coroas seja igual a 20).

O exposto acima corresponde, em essência, ao que nos afirma a **Lei dos Grandes Números**, primeiramente formulada por Bernoulli: quanto maior a duração de uma seqüência, mais aproxima-se de 1 a probabilidade da "seqüência típica" do processo. A seqüência típica é aquela cuja composição percentual coincide com a lei probabilistica de ocorrência dos elementos na seqüência. Conforme afirma GOLDMAN (1953: P. 14), uma seqüência infinitamente longa certamente será típica.

Em seqüências de duração finita (principalmente em seqüências curtas) geralmente ocorrem divergências em relação à seqüência típica. Essas divergências são conhecidas como **flutuações**. Como corolário à Lei dos Grandes Números, uma seqüência infinita deve possuir quantidade nula de flutuações.

6. Estocasticidade, Processos Markov e Ergodicidade

A Teoria da Informação trabalha com conceitos da Estatística que permitem identificar tipos diferenciados de processos probabilísticos. Assim, uma fonte produzindo símbolos discretos segundo probabilidades determinadas pode ser estocástica, markov ou ergódica.

Processo estocástico é aquele que produz uma seqüência de símbolos discretos, segundo certas probabilidades. Essas probabilidades são chamadas "monogramáticas", dado que não são condicionais e expressam portanto a relativa ausência de constrangimentos na seqüência.

O processo estocástico onde as probabilidades simbólicas dependem de acontecimentos prévios da série é denominado **processo Markov ou cadeia de Markov**.

Já um **processo ergódico** define-se a partir de duas características: a) ocorrência de símbolos é regulada probabilisticamente; b) não há influência inter-simbólica apreciável para além de determinado número finito de símbolos. Essa última característica faz com que qualquer amostra razoavelmente ampla seja representativa da seqüência como um todo. Qualquer relação entre símbolos que se estenda além de uma determinada duração em uma seqüência ergódica pode ser considerada puramente casual. Nos sistemas ergódicos há influências intersimbólicas até um determinado limite de duração.

Da mesma forma que em processos estocásticos, nos ergódicos também vale a Lei dos Grandes Números. Isto é: uma seqüência suficientemente grande certamente ilustrará com exatidão as probabilidades simbólicas e as influências intersimbólicas típicas do sistema. Essa seqüência suficientemente grande é chamada "seqüência ergódica". "Sistemas ergódicos ... demonstram endemicamente uma espécie segura e confortante de regularidade estatística" (WEAVER, 1975: p. 12). A seqüência ergódica é, portanto, estacionária, já que as freqüências não se alteram no decorrer da série. Para que o processo permaneça estacionário, devem ser satisfeitas as condições de equilíbrio: quaisquer que sejam as condições iniciais, $P_{(N)}$ deve ser confirmada no estágio j após N símbolos, com N tendendo ao infinito.

A **Teoria Ergódica** é a teoria do comportamento estatístico de longo prazo dos sistemas dinâmicos, ou "fluxos de medida preservada", como define ORNSTEIN (V. 243: p. 182).

Seqüências não-ergódicas são perfeitamente possíveis e até prováveis para pequenas seqüências, mas a soma de suas probabilidades se aproxima de zero em uma longa seqüência.

Muitas linguagens, como as naturais, não são sistemas ergódicos perfeitos, mas aproximados. A matemática de sistemas ergódicos é a eles aplicada por convenção.

Para calcular o número de possíveis mensagens em uma seqüência ergódica devemos proceder de forma a separar a seqüência em grupos elementares de símbolos ou mensagens que esgotem o resíduo de influência entre os símbolos. Isso torna possível a consideração, para fins de cálculo, da influência intersimbólica.

Para calcular, por exemplo, o número M de mensagens possíveis em uma seqüência ergódica de duração m, devemos usar a expressão

$$M_{(m)} = A . 2^{hm}$$
, onde

A é a constante da seqüência e independe da de duração m; h= -1/q Pi Log Pi, sendo 'q' o número médio de símbolos por mensagem elementar; 'q' é sempre maior que o alcance da influência intersimbólica. Pi é a probabilidade de ocorrência da i-ésima mensagem e Σ Pi Log Pi é a soma ponderada de todos os valores de i, ou seja: P1 Log P1 + P2 log P2 ... + Pn Log Pn (com n = número total de mensagens elementares).

7. O Sistema de Comunicação e suas Partes

A **comunicação** é simbolizada por um sistema abstrato que contém os elementos comuns indispensáveis a todo e qualquer processo de comunicação, isto é, a todo e qualquer processo que envolva transmissão ou troca de informações.

Pré-requisito fundamental para analisar os problemas relacionados à comunicação é transformar em grandezas matemáticas as diversas entidades físicas envolvidas.

O **sistema de comunicação** é em geral composto dos seguintes elementos:

- a) **Fonte ou emissor**. Produz a mensagem através de seleções sucessivas de elementos retirados de um repertório;
- b) **Transmissor ou codificador**. Transforma a mensagem em sinal apto a circular no canal;
- c) Canal. Conduz a mensagem codificada. Geralmente está sujeito à ação de forças perturbadoras, que recebem a denominação geral de ruído;
- d) Receptor ou decodificador. Faz operação inversa à do transmissor;
- e) **Destinatário.** Elemento que recebe a mensagem, receptáculo de informação.

Entende-se por **mensagem** qualquer grupo de elementos extraídos de um repertório e ordenados em uma estrutura segundo as propriedades (regras) de um código, com a finalidade de serem transportados de um emissor a um destino.

Por **código** é entendido um conjunto de regras e operações requeridas para expressar informação de forma satisfatória através de uma mensagem a ser transmitida. O código é, portanto, o responsável pela estrutura da mensagem, isto é, por seu ordenamento. Todos os códigos usam seqüências simbólicas, mesmo os códigos pictóricos, como um filme, o qual utiliza duas ou três seqüências simbólicas paralelas.

Para que um código seja completamente satisfatório para expressar informação a ser transmitida por um canal, todas as possíveis mensagens geradas na fonte devem ser passíveis de ser codificadas e transmitidas por um determinado canal.

Podemos fazer a distinção entre **códigos primários (de entrada) e secundários (de saída)**. Quando por exemplo convertemos uma mensagem escrita em qualquer linguagem natural para o código morse, a linguagem natural representa o código primário, e o código morse é aqui o código secundário.

Os constrangimentos de um código primário podem eliminar opções disponíveis em um código secundário, tornando a capacidade composta dos dois menor que a capacidade individual de cada um (Cf. GOLDMAN, 1953: p. 28). Significa isso que os constrangimentos do código primário somam-se aos do código secundário na limitação do número de seqüências permitidas.

Denomina-se **canal-código** o sistema em que uma seqüência de símbolos em determinado código é transmitida à taxa específica por determinado canal.

A tradução da mensagem num código particular adaptado ao canal recebe o nome de **codificação**. Um dos mais importantes problemas em engenharia de redes de comunicação é o de elaborar meios adequados à codificação de informações. Como veremos a seguir, a maioria dos problemas de capacidade de canais de comunicação pode ser resolvida através de um sistema de codificação que permita certa compressão da informação.

A codificação ideal é aquela que iguala as características estatísticas da fonte às do canal. A respeito da eficiência do sistema de codificação, SHANNON afirma:

De modo a obtermos a transferência máxima da força elétrica produzida por um gerador para uma carga, um transformador deve, em geral, ser introduzido no circuito, de forma a permitir que o gerador quando visto do ponto de vista da carga tenha a mesma resistência da carga. A situação aqui é mais ou menos análoga ... A codificação deve igualar a fonte ao canal no sentido estatístico ... O conteúdo do teorema 9 (o teorema da razão de transmissão, que examinaremos em detalhes mais à frente) é que, embora uma igualdade exata não seja ordinariamente possível, podemos aproximá-la tanto quanto desejarmos. A razão proporcional da quota real de transmissão para a capacidade C do canal poderá ser chamada de eficiência do sistema de codificação. Evidentemente, isto é igual à razão da entropia (informação média) real dos símbolos do canal para a entropia máxima possível. (1975: p. 66)

A codificação é mais simples nos casos de eqüiprobabilidade dos diversos símbolos do repertório, quando podemos dividir sempre ao meio as probabilidades dos símbolos. Neste caso a codificação pode ser operada letra a letra, sem qualquer perda de eficiência. Por exemplo: um alfabeto

de quatro letras eqüiprováveis pode ser codificado à razão mínima de 2 bits por letra, valor que corresponde ao da informação média (ou entropia, como veremos) do alfabeto.

Diferentemente, temos os casos em que os símbolos não são eqüiprováveis ou suas probabilidades não são múltiplas de 2. Como exemplo temos um alfabeto de três símbolos (A, B e C). Usando o método de divisão do conjunto sempre ao meio, chegaríamos à identificação de cada letra com a taxa média de informação de 1,67 bits. No entanto, a informação média do conjunto (dada pelo somatório dos logaritmos das probabilidades de cada elemento) é de 1,58 bits.

De onde provém o desperdício de informação na codificação? Ele é oriundo do desrespeito à regra de divisão das probabilidades sempre ao meio. Só há uma forma de combater esse desperdício: recodificar o alfabeto tomando porções maiores de texto, e não letras isoladas. Por exemplo: codificar 9 digramas compostos pelas 3 letras. Se dividirmos o conjunto dos digramas sempre o mais próximo possível da metade, chegaríamos a uma taxa média de informação por digrama de 3,22 bits, portanto 1,61 por letra. Usando codificações de trigramas, nos aproximaríamos mais ainda dos 1,58 de informação média do conjunto.

Em resumo, quanto mais elementos estiverem codificados em um mesmo signo poligramático (digramas, trigramas, etc), maior o ganho de informação. A codificação ideal, porém, requer longos atrasos para igualizar as probabilidades entre fonte e canal, limpando a linguagem de qualquer ineficiência.

Mas o que é entendido, no âmbito da Teoria da Informação, por **linguagem**? Constitui uma linguagem um alfabeto dotada dos constrangimentos fixos ou probabilísticos característicos de uma seqüência ergódica. Toda linguagem possui um alfabeto (repertório) e uma gramática (essência da redundância, como veremos em seguida).

Qual a **diferença entre linguagem e código**? Em certos casos não há diferença. O código morse, por exemplo, é, ao mesmo tempo, uma linguagem e um código. Porém, em outros casos uma linguagem pode ter vários códigos superpostos. Uma língua natural, por exemplo, possui pelo

menos quatro códigos alfabéticos superpostos (de letras, de palavras, de sentenças e de mensagens). Esses alfabetos se sobrepõem, fazendo com que a capacidade composta da linguagem seja menor que a de seu código primário, o de letras.

Conforme assinala GOLDMAN (1953: P. 30-31), é possível calcularmos a capacidade de transmissão de uma linguagem. A máxima informação média por unidade de duração de uma seqüência composta em determinada linguagem é dada por

$$-\frac{1}{h}$$
. $\sum Pj Log Pj$, onde:

b é a duração média das mensagens elementares e Pj é a probabilidade de ocorrência de uma mensagem **na recepção**, independente do que foi transmitido.

Essa taxa máxima de informação média por unidade de duração da mensagem fornece a capacidade de transmissão da linguagem.

Um outro elemento fundamental dos sistemas de comunicação é o **canal**. O canal é um sistema direcional de transmissão completo, que inclui as propriedades tanto do equipamento de transmissão quanto do código e linguagem utilizados. Os constrangimentos do canal são sobrepostos, isto é, incluem os da linguagem utilizada na fonte e os do código apropriado à transmissão no canal.

A natureza estatística da mensagem é inteiramente determinada pelas características da fonte, mas a natureza estatística do sinal (mensagem traduzida no código) é determinada pelas características da fonte mais as do canal, sobrepostas.

Os componentes que permitem a avaliação da eficácia do canal são a taxa de transmissão da informação, a confiabilidade da transmissão e a demora na recepção.

Ao invés de um único canal, é comum a existência de redes (ou cadeias) de canais de comunicação, que possuem certas propriedades específicas. A taxa média máxima com que uma cadeia de canais em

cascata pode transmitir informação é igual à menor capacidade de transmissão dentre os diversos canais. Quando a taxa média máxima de todos os canais é igual não há perda de informação. Se a capacidade de um canal é maior que a de outro, este último terá que intercalar um tempo de espera entre suas transmissões. Durante esse tempo de espera ele pode ser usado para outros propósitos, como armazenamento de significados para os sinais provenientes da fonte primária.

8. Entropia Informacional

Conceito oriundo da Termodinâmica, a **entropia** (H) corresponde, na Teoria da Informação, à medida da informação média disponível em seqüências ou repertórios (uma mensagem ou uma fonte, por exemplo).

A magnitude da entropia é uma medida da incerteza descrita por um conjunto de possibilidades. Ela é expressa matematicamente da forma abaixo:

$$H = -K \sum Pi Log Pi$$
, onde

Pi é a probabilidade de um sistema apresentando a complexão i no i-ésimo estado de seu espaço de fase. Se os diversos i não são independentes entre si, usa-se probabilidades condicionais Pi(j). K é constante. Fazendo-a igual à unidade e tomando logaritmos de base 2, alcançamos medida correspondente à redução progressiva das probabilidades à metade.

Com relação ao sinal negativo, diz WEAVER: "Qualquer probabilidade é um número menor que ou igual a 1, e os logaritmos dos números menores que 1 são ... negativos. Portanto o sinal de menos é necessário de modo que H seja de fato positivo" (1975: p. 15).

O que mensuramos ao medir a entropia informacional? Essa questão origina um vasto leque de visões diversas, o que acusa o fato de estarmos diante de um problema com certo nível de implicações epistemológicas. Com efeito, ao nos perguntarmos sobre a natureza física de qualquer conceito matemático, é comum surgirem visões diferenciadas.

Essas diferenças geralmente se originam de concepções divergentes do problema epistemológico, isto é, do problema da relação entre sujeito e objeto no conhecimento científico. Assim, há visões mais objetivistas, e outras mais subjetivistas.

BONSACK (1970: P. 184), por exemplo, vê a entropia de modo mais objetivo. Para ele, o H de Shannon mede a variedade ou a diversidade das ligações entre elementos. Já autores como MOLES (1969) que trabalham com o método psicológico, vêem na entropia uma medida da "inteligibilidade das formas", da incoerência do arranjo entre os elementos, o que confere à grandeza entrópica caráter mais nitidamente subjetivo.

De qualquer modo, nosso objetivo neste capítulo, conforme já afirmamos, ainda não é o de discutir problemas epistemológicos. Pretendemos aqui apenas expor da forma mais clara possível o sistema de conceitos e enunciados da Teoria da Informação, para o que se faz mister, pelo menos por enquanto, o deixar de lado de problemas filosóficos.

Assim, tendo em vista a finalidade menos ambiciosa da mera descrição, podemos considerar a entropia, para fins de maior clareza, como a medida da incerteza associada a um grupo de elementos, ou seja, como a medida da quantidade de incerteza de que nos livramos ao escolher um elemento dentre um grupo de elementos possíveis.

Qual a **distinção entre informação e entropia**? A informação é propriedade de elementos, enquanto que a entropia é uma propriedade média, isto é, uma propriedade de conjuntos.

Em situações de eqüiprobabilidade, I = H, pois

$$H = \sum P Log P = n \cdot P Log P$$
, onde

n é o número de elementos do conjunto. Como os elementos são eqüiprováveis, então P = 1/n. Daí temos

$$H = -Log \frac{1}{n}$$

Essa expressão foi chamada por Shannon de "fórmula da entropia máxima", já que as situações de eqüiprobabilidade, onde I = H, são sempre as situações de máxima entropia.

Em situações de tendenciosidade, temos H diferente de I. Neste caso, I = -Log P(i) e H = - \sum P(i) Log P(i).

Há diversas funções que descrevem matematicamente a relação entre grandezas entrópicas. Elas são chamadas por EDWARDS (1971: p.s 73-75) de **funções de informação média**. As principais funções de informação média são as seguintes:

- a) Hj(i) = Informação presente na entrada mas não na saída. É o "equívoco" (chamado por Shannon de "ambigüidade").
 Corresponde à quantidade de informação necessária para corrigir uma mensagem perturbada.
- b) Hi(j) = Informação presente na saída mas não na entrada. É o "ruído".
- c) T(i;j) = Informação presente na entrada e na saída. É a "transmissão" propriamente dita.
- d) H(i;j) = Surge da soma das três funções. Corresponde à quantidade total de informação do sistema, isto é, à informação média fornecida por todo o espaço de fase do sistema.
- e) D (i;j) = T / H(i). É a eficácia da transmissão, ou seja, a proporção entre transmissão efetiva (T) e transmissão possível H(i).
- f) D (j;i) = T / H(j). Fidedignidade da transmissão, ou seja, proporção entre transmissão real e informação média na saída H(j).

As funções de informação atestam algumas propriedades interessantes dos sistemas de comunicação, dentre as quais:

- a) H(i) = Hj(i) + T. A entropia na entrada é igual à transmissão mais o equívoco.
- b) Hj(i) = H(i) T. O equívoco é igual à entropia na fonte menos a transmissão efetiva.
- c) H(j) = Hi(j) + T. A entropia na recepção é igual ao ruído mais a transmissão.

- d) H(i;j) = H(i) + Hi(j). A entropia total é igual à entrada mais o ruído.
- e) H(i;j) = H(j) Hj(i). A informação total ou se manifesta na saída ou se perde.

Se o processo for ergódico, as probabilidades P(i) da expressão da entropia tornam-se probabilidades condicionais Pi(j). Por exemplo:

$$H = -\sum Pi(j) Log Pi(j)$$

é a quantidade média de informação adquirida após a identificação da próxima letra em qualquer seqüência ergódica.

A quantidade média de informação conseguida **em toda a seqüência** é, assim, dada pelo somatório de somatórios:

$$H = \sum \{-\sum Pi(j) \text{ Log } Pi(j) \cdot P(i)\}, \text{ onde}$$

P(i) é um fator de ponderação.

Em processos ergódicos podemos ir além e investigar a estrutura trigrama, utilizando a probabilidade condicional Pij(k). Ao investigarmos dependências seqüenciais de ordem 'n' é possível mostrar que, se 'n' é suficientemente grande, H desaparece. Isso significa que o conhecimento de toda a influência intersimbólica de uma seqüência ergódica esgota a incerteza a ela associada, tornando-a 100% previsível.

A entropia H possui algumas **propriedades**, das quais podemos enumerar as seguintes:

- a) H varia em função de P(i) (ou de Pi{j}) e de 'n'. Se são eqüiprováveis os elementos (P(i) é constante), então H cresce exponencialmente com n;
- b) Sua unidade matemática (bit) tem propriedades aditivas. Isso significa que, se uma escolha é dividida em escolhas sucessivas, a incerteza do conjunto é a soma ponderada das incertezas dos conjuntos menores;
- c) H é máximo com P(i) iguais, caso em que I = H;

d) O valor mínimo de H é zero, correspondendo à certeza absoluta. Logo, matematicamente falando não existe entropia negativa.

No caso de uma língua que possui freqüências simbólicas e restrições intersimbólicas, não podemos simplesmente calcular a entropia tomando apenas as freqüências simbólicas. É preciso, como já vimos, agrupar os símbolos de forma a esgotar nesses grupos as influências intersimbólicas. Calculando a entropia desses grupos e dividindo pelo número médio de símbolos nos grupos, teremos então a **entropia por símbolo**, que é a mesma coisa que informação média por símbolo.

Chamamos **entropia relativa** à razão entre a entropia por símbolo de uma mensagem e a entropia máxima que ela poderia ter, caso as freqüências simbólicas fossem eqüiprováveis e não houvesse quaisquer restrições intersimbólicas.

A entropia relativa é expressão da "razão de compressão", conceito que examinaremos em detalhes mais à frente. Sua expressão matemática recebe a seguinte forma:

$$H = -\sum \frac{P(i)LogP(i)}{Logn}$$

9. Redundância

Os constrangimentos intersimbólicos diminuem a informação média por símbolo. Quanto mais restrições gramaticais possuir determinada linguagem, maior é a sua **redundância** (r).

A redundância é o fator pelo qual a duração média das mensagens é aumentada devido à estrutura da linguagem estar além da requerida para transmitir a informação desejada. Devido à redundância, o número de arranjos possíveis em uma mensagem de duração n composta com M símbolos é sempre menor que M^n .

A redundância pode ainda ser definida como a fração prédeterminada de qualquer sistema, não-passível de livre-escolha.

A redundância é definida matematicamente como grandeza complementar da entropia relativa. Ou seja:

Poderíamos, dessa forma, considerar a redundância como uma forma de ineficiência, no sentido de que constrangimentos estatísticos engendram símbolos necessários sintaticamente, mas sem qualquer conteúdo semântico. Essa ineficiência é contudo relativa, e só pode ser constatada em condições ideais.

Porém, no mundo as condições raramente são ideais, o que põe em evidência a importância da redundância no combate ao ruído: ela reduz a velocidade de transmissão, mas aumenta a confiabilidade. É provável que a redundância subjacente às linguagens naturais tenha se desenvolvido – provavelmente através do método de tentativa e erro – para melhorar a confiabilidade das transmissões.

Um exemplo de como a redundância melhora a confiabilidade é o uso do "bit de verificação" em cartões perfurados. Em um cartão onde não há redundância, todas as possibilidades binárias (furo / não-furo) foram exploradas. Por conseguinte, se houver erro (um furo a mais, por exemplo), ele não poderá ser reconhecido com tal.

Porém, podemos inserir 'bits de verificação' de forma a tornar, por exemplo, pares todos os conjuntos de furos dispostos sobre as linhas do cartão. Dessa forma, se surgir um furo a mais ele será automaticamente reconhecido como um ruído, pois não há número impar de furos em cada seqüência.

Com isso, no exemplo dado, ao preço de 50% de redundância foi reduzido praticamente a zero o risco de um erro passar despercebido.

O conceito de redundância introduz a questão da compressão de informação. Em certos casos, quando há escassez de capacidade C, a compressão da informação é importante. Observando a expressão matemática da redundância (1 – H relativa), podemos concluir que seria possível recodificar uma linguagem natural eliminando todos os constrangimentos probabilísticos e conseguindo, assim, uma redução na duração das mensagens da ordem de 50% (redundância calculada para o inglês).

Essa recodificação chama-se compressão e é o que é feito, por exemplo, nos telegramas. Obras literárias clássicas, com altas taxas de informação, costumam divergir dos constrangimentos probabilísticos impostos pela sintaxe do texto, construindo com isso outras sintaxes possíveis. É interessante notar, por exemplo, que a redundância de mensagens estéticas é da ordem de 20% (MOLES, 1969: p. 194).

A compressão de informação, porém, não pode jamais ultrapassar a taxa de redundância sem perda de informação, pois é essa a taxa de comparecimento de símbolos sem significado, com função meramente sintática.

10. Transmissão de Informação

A taxa máxima ou capacidade de transmissão (R) em um determinado canal é a medida da informação média máxima transmitida por unidade de tempo.

$$R = -\sum P_i \log P_i / \sum P_i b_i$$
, onde

bj é o valor do tempo requerido para transmitir a j-ésima mensagem.

Sendo R1 a taxa de transmissão do canal 1 e R2 a do canal 2, então se R1>R2 parte da informação transmitida pelo canal 1 não será recebida pelo canal 2. O contrário ocorre quando R1 ≤ R2. Portanto, para evitar demoras apreciáveis ou perdas na transmissão será sempre necessário que a capacidade do canal posterior seja algo maior que a do anterior.

O mesmo acontece com respeito à relação fonte-canal. Se a capacidade da fonte é maior que a do canal, este último é inadequado para transmitir a informação requerida, pois não possui um método diferente para expressar cada uma das possíveis mensagens.

A capacidade, designada por 'C', é o mesmo que a taxa média máxima de transmissão do canal. A capacidade, dada em bits/segundo, é fornecida pela expressão

$$C = Log W$$
, onde

W é o "espaço de fase" do canal, isto é, o conjunto de todos os estados possíveis que podem ser nele configurados.

Se cada símbolo gerado na fonte tem 's' bits e o canal pode transmitir 'n' símbolos, então

$$C = n.s$$
 bits

Freqüentemente é necessário considerar também o comprimento dos símbolos (caso seja variável).

O **teorema da razão de transmissão** (ou teorema 9) é o mais importante dos teoremas enunciados por Shannon. Possui enorme quantidade de implicações (inclusive filosóficas, como veremos adiante) nas mais diversas áreas da Ciência, da Engenharia à Psicologia.

O teorema 9 fixa uma condição limitante para qualquer transmissão de dados, ao afirmar a impossibilidade de transmitir informação a uma taxa maior que

$$R = \frac{C}{H} - e$$
, onde

C é a capacidade do canal, H é a entropia gerada na fonte e 'e' é um valor infinitamente pequeno.

Se C excede a informação média por unidade de tempo surgindo da fonte, há pelo menos um método de codificar e enviar toda a informação no canal. Por outro lado, não haverá nenhum método para codificar essa informação no canal se C < H.

Quando há ruído (caso que examinaremos adiante) o teorema continua valendo, mas o valor da taxa média de transmissão já não equivalerá à informação por unidade de tempo oriunda da fonte.

O teorema 9 é mais facilmente aplicado ao caso em que não há influências intersimbólicas, mas pode ser prontamente generalizado para

o caso em que há interdependências, através da separação das mensagens em grupos que esgotem as dependências seqüenciais, conforme o já visto anteriormente.

Devemos lembrar que podemos transmitir informação à taxa a mais próxima possível de C sem demoras no tempo, desde que seja ajustada a relação entre a duração dos símbolos e suas probabilidades. A codificação consiste justamente nesse ajuste, através do qual ocorre o emparelhamento entre os constrangimentos probabilísticos da fonte e os constrangimentos fixos do canal. Na codificação reside, portanto, a chave da otimização da capacidade C.

O ajuste entre as características estatísticas da fonte e as do canal consiste na escolha de certas freqüências simbólicas que dão a máxima taxa de transmissão de informação para um dado alfabeto de símbolos de duração determinada. Para adquirir uma alta taxa de transmissão da informação é sabido que os grupos de código menores devem ser usados para os símbolos lingüísticos que ocorrem mais freqüentemente, e viceversa.

As condições que maximizam, até a capacidade limite do canal, a transmissão de informação em um sistema que impõe restrições sobre possíveis seqüências são descritas no teorema 8 de SHANNON. Ele afirma que "Através da designação apropriada das probabilidades em transição a entropia dos símbolos em um canal poderá ser maximizada até a capacidade limite do canal" (1975: p. 62).

Portanto, ignorar o conhecimento estatístico da fonte provoca desperdício de capacidade C. Por outro lado, levar em conta as propriedades estatísticas da fonte nos permite adotar um sistema de codificação que otimiza C.

11. Transmissão de Informação em Presença de Ruído

O **ruído** é um efeito que incide sobre o canal de transmissão, tornando a mensagem recebida diferente da mensagem enviada.

Geralmente pode-se dizer que, quando existe ruído, o sinal recebido exibe maior quantidade de informação – ou fraseando melhor, o sinal recebido é selecionado dentre um grupo de sinais mais amplo e mais variado que o sinal transmitido... Portanto é possível que a palavra informação tenha, indiferentemente, conotações boas ou más. A incerteza a que nos referimos é alcançada em virtude da maior ou menor liberdade de escolha que o transmissor da mensagem susteve, tornando-se, destarte, incerteza desejável. A incerteza ... originada por erros ... é a incerteza indesejável. (WEAVER, 1975: p. 19)

Portanto, conforme assinala Weaver, o ruído distingue-se da informação não tanto pela morfologia quanto pela funcionalidade.

O ruído jamais pode ser completamente eliminado, mas apenas reduzido a níveis mínimos. Essa é a principal tarefa da engenharia de comunicações.

Vimos anteriormente que a equação da quantidade de informação em uma mensagem recebida é igual ao logaritmo da razão entre a probabilidade, no receptor, da ocorrência depois do recebimento da mensagem e a probabilidade, no receptor, da ocorrência antes do recebimento da mensagem:

$$I = Log \frac{Pi(j)}{Pj}$$

A equação é escrita dessa forma porque a mensagem recebida é sempre diferente da enviada, contendo uma quantidade a mais de informação ruidosa. Quando não há ruído, o numerador da razão é igual a 1.

O ruído é expresso matematicamente através do uso da probabilidade condicional Pi(j), que dá uma detalhada descrição de seu comportamento. Sendo 'i' a mensagem enviada e 'j' a mensagem recebida, o ruído é igual a zero se i = j.

O ruído corresponde, em síntese, à diferença entre as entropias da saída e do sinal transmitido, ou seja:

$$Hi - Hi = Hi(i)$$
.

As probabilidades Pi e Pj são calculadas por valores de longa duração (médias). Com isso, podemos obter a quantidade de informação em uma mensagem recebida em presença de ruído.

Citemos como exemplo a determinação da probabilidade de transmissão de uma mensagem i recebida como j (i que implica j):

$$P(i;j) = 1/Pj.PiPij$$
, onde

P(i;j) é a probabilidade de que i implique em j. Pj é a probabilidade da recepção de j, independente do que foi transmitido. Pi é a probabilidade da transmissão de i, enquanto PiPij é igual à probabilidade de que a mensagem transmitida seja i e a recebida, j.

Já a informação média (entropia) por mensagem recebida na presença de ruído é igual a:

$$H(j) - Hi(j)$$
, onde

H(j) é a entropia por mensagem da seqüência de mensagens recebidas quando o que foi transmitido é desconhecido. Hi(j) é a entropia condicional por mensagem da seqüência de mensagens recebidas quando a entrada é conhecida (na ausência de ruído, Hi(j) = 0).

H(j) é sempre maior que Hi(j). Se um símbolo é transmitido e outro é recebido, a expressão acima, para informação média, torna-se negativa.

É evidente que o receptor não pode saber quanta informação é recebida em cada mensagem se ele não sabe o que foi transmitido. Ele pode, porém, conhecer a informação média por mensagem usando H(j) – Hi(j), desde conheça a história do sistema, através de suas probabilidades características, determinadas pela observação de seu comportamento prévio em um longo período de tempo.

A fim de um melhor entendimento da transmissão na presença de ruído, alguns casos especiais podem ser analisados. No último exemplo de cálculo da informação na presença de ruído demonstrado por SHANNON (1975: P.S 84-85), é utilizado um tipo especial de canal chamado

simétrico. Nele há apenas 2 símbolos. Esse tipo de canal simplifica as funções de informação, pois, nele:

- a) ruído e equívoco são iguais;
- b) o equívoco independe das freqüências relativas de entrada. Ou seja: Hi(j) = Hj(i)= -{p Log p + (1-p) Log (1-p)}.

Nessa função, equívoco e ruído alcançam o valor máximo quando a probabilidade de erro é de 50%. Nesse caso, H(j) fica inalterável, mas Hi(j) sobe para 1 bit por símbolo, o que dá o valor surpreendente de H(j) – Hi(j) = 0. Por que a informação média transmitida é neste caso igual a zero?

Porque nesse exemplo nenhuma informação média foi transmitida, pois uma percentagem igual de símbolos recebidos corretamente pode ser obtida jogando-se uma moeda. Explicando melhor: como todos os símbolos tem igual chance de estarem certos ou errados, nada chegou ao receptor que ele já não tivesse como saber a priori.

Por outro lado, no mesmo exemplo se a porcentagem de erro é de 100%, H(j) permanece inalterado e Hi(j) cai para zero. A informação média é, assim, de 1 bit/símbolo. Isso ocorre porque, em só havendo 2 símbolos, podemos conhecer com certeza o símbolo transmitido a partir do recebido, pois há possibilidade 1 de que ele seja trocado na transmissão. Esse fenômeno é chamado "distorção".

Um dos mais importantes problemas na transmissão por um canal ruidoso é o da confiabilidade. **Confiabilidade** é a medida da precisão de uma transmissão. Conseguir razões ótimas de transmissão é um dos mais complexos problemas de engenharia de redes, pois o ruído não é independente do sinal, mas uma função qualquer da potência P do sinal.

O aumento da confiabilidade corresponde ao processo de redução do ruído. A Teoria da Informação fornece métodos de análise quantitativa dos processos de redução do ruído. Hoje já há métodos avançados, como os chamados "padrões planejados de redundância", dentre outros.

Da equação da informação média por mensagem H(j) – Hi(j) deriva o resultado notável segundo o qual, através da codificação formal – que pode contudo envolver um longo tempo de espera – é possível reduzir a proporção de sinais-ruído em uma mensagem ao limite. Esse método

consiste no aumento da redundância de forma a compensar o ruído. Assim, a probabilidade de incidência de erro é menor quando a mensagem é repetida várias vezes. Isso, porém, só pode ser conseguido às custas da capacidade do canal, isto é, às custas de uma redução da quantidade de mensagens que pode ser enviada no mesmo prazo de tempo pelo mesmo canal.

A repetição, porém, não é o mais eficiente método de combate ao ruído. Métodos menos dispendiosos – que obtém maior redução de ruído com a mesma redundância – codificam mensagens em grupos de símbolos mais longos. Isso capacita um largo número de relações intersimbólicas a serem usadas como base para a eliminação de mensagens errôneas.

A partir disso podemos enunciar o teorema de Shannon para a taxa média de informação que pode ser enviada através de um canal ruidoso com porcentagem a menor possível de erros. Consideremos primeiramente as seguintes variáveis propostas por GOLDMAN (1953: p.s 56-57):

a) O número de possíveis mensagens que podem chegar ao receptor de um canal ruidoso é

$$n_1 = A \cdot 2^{m \cdot h(j)}$$
, onde

m = duração das mensagens e h(j) = - 1/q P(j) Log P(j) = - 1/q H(j), sendo q a média de símbolos por mensagem.

b) O número de seqüências que podem ser transmitidas por um canal ruidoso é

$$n_2 = A \cdot 2^{m \cdot h(i)}$$
, onde

m = número de símbolos da seqüência e h(i) = - $1/q \sum P(i) \log P(i)$ = - 1/q H(i). Sendo m suficientemente grande, n_1 e n_2 são conjuntos ergódicos e suas seqüências são eqüiprováveis.

c) O número de possíveis seqüências que podem aparecer no receptor em decorrência de ruído para cada seqüência transmitida é

$$n_3 = A \cdot 2^{m.hi(j)}$$

d) O número de possíveis seqüências que podem ser transmitidas em um plano de codificação para reduzir o ruído é

$$n_4 = \frac{n_1}{n_3} \cdot 2^{-\eta.m}$$

sendo η uma espécie de constante de redundância, a qual entra portanto apenas no cálculo de n_4 . O conjunto de mensagens n_4 é escolhido de n_2 ao acaso, o que não afeta as probabilidades dos símbolos, pois todas as mensagens escolhidas são ergódicas.

Vamos considerar agora as possíveis seqüências resultantes que podem surgir, devido a ruído, daquelas n₄ transmitidas. O desejamos saber em particular é quanta duplicação esperar entre as possíveis seqüências recebidas. Sendo as n₄ mensagens transmitidas ergódicas e eqüiprováveis – posto que escolhidas ao acaso de n₂ – a porcentagem de duplicação entre as possíveis seqüências resultantes será aproximadamente igual à porcentagem que elas representam de todas as possíveis seqüências recebidas.

Se não há duplicação, o número de diferentes mensagens resultantes seria o máximo:

$$n_5 = n_4 \cdot n_3 = n_1 \cdot 2^{-\eta \cdot m}$$

sendo 2^{-η,m} a porcentagem de duplicação.

Quando a sequência é suficientemente grande, $2^{-\eta,m}$ fica muito pequeno em comparação com a unidade, o que significa que quanto maior a duração da mensagem, menor a taxa de duplicação, conforme já havíamos dito.

Portanto, é possível codificar n_4 mensagens possíveis para enviar através do canal ruidoso com percentagem de erros na recepção igual à percentagem de duplicação $2^{-\eta,m}$. Mostramos que isso pode ser feito

escolhendo ao acaso as n4 seqüências transmitidas (uma escolha feita de acordo com um padrão planejado pode ser mais eficiente para diminuir o ruído que uma escolha ao acaso), e então interpretando cada uma das n₃ diferentes seqüências recebidas que podem surgir de qualquer seqüência particular transmitida S(i) como tendo o significado de S(i).

Portanto, fazendo m suficientemente grande é possível transmitir

$$n_4 = \frac{n_1}{n_3} \cdot 2^{-\eta \cdot m} = \frac{A_1}{A_3} \cdot 2^{(h(j) - hi(j) - \eta) \cdot m}$$

diferentes possíveis mensagens com porcentagem de erros inversamente proporcional ao tamanho de m. Para esse número n_4 de mensagens, a taxa média de informação lingüística será de H(j) – Hi(j) = h(j) – hi(j), aproximadamente, pois - η é constante de redundância, a qual terá um valor baixo no caso em que m for suficientemente grande.

Chegamos portanto à conclusão, originalmente derivada por SHANNON, de que através de codificação formal eficiente um canal ruidoso pode transmitir informação lingüística à taxa média de h(j) – hi(j) bits/símbolo, com percentagem tendencialmente pequena de erros (APUD GOLDMAN, 1953: p. 58).

Ao observarmos esse teorema, podemos dele depreender que:

- a) Essa taxa é toda a informação lingüística média que o canal pode transmitir em qualquer caso, e
- b) Que a confiabilidade da transmissão de informação pode ser melhorada sem a diminuição da taxa média de transmissão, mas às custas de um tempo maior de demora na recepção e da redução da capacidade média de manipulação da mensagem no emissor, devido ao aumento da redundância

No caso de precisarmos transmitir informação a uma taxa média maior que h(j) - hi(j), ou seja, no caso de precisarmos comprimir informação, podemos expressar isso com η positivo (lembremos mais uma vez que η é constante de redundância) na equação

$$n_4 = A \cdot 2^{(h(j) - hi(j) + \eta) \cdot m}$$

Porém, no caso de uma transmissão a essa taxa, apenas um símbolo fora de cada $A.2^{\cdot n.m}$ seria transmitido sem erro. Vemos, portanto, que se transmitirmos informação em longas seqüências a uma taxa maior que h(j) - hi(j) por símbolo, apenas uma pequena parcela chegará corretamente.

Como nos assevera GOLDMAN (1953: P. 59), sendo hi(j) uma expressão das propriedades ruidosas do canal, h(j) - hi(j) surge como expressão dos limites de redução do ruído. Os erros diminuem exponencialmente com 'm' quando a taxa de transmissão é menor que h(j) - hi(j), e aumentam exponencialmente com m quando a taxa de transmissão é maior que h(j) - hi(j)

Como enunciar, a partir do exposto acima, a capacidade do canal ruidoso?

No caso, exposto anteriormente, de um canal não-ruidoso, a taxa de transmissão é

$$R_1 = \frac{1}{b(i).H(i)} = R_2 = \frac{1}{b(j).H(j)}$$

sendo b a duração média das mensagens; R_1 , a taxa média com que a informação pode ser codificada no canal de transmissão e R_2 é a taxa média com que a informação pode ser enviada através do canal.

Se o canal é ruidoso, naturalmente temos que R₁>R₂.

Conforme assinala GOLDMAN (1953: p.s 60-61), através de codificação formal a informação pode ser enviada através do canal à taxa máxima de R₂ com uma muito pequena quantidade de erros, e não pode ser codificada a uma taxa maior que R₂. Essa taxa máxima é portanto a capacidade do canal ruidoso. Ela pode ser também expressa da forma abaixo, enunciada por SHANNON (1975, P. 74):

$$C = H(i) - Hi(j)$$

E, logo, não podemos transmitir informação a uma razão maior que R2/H(i), ou simplesmente C / H.

12. Informação Contínua

Até aqui estivemos tratando de sistemas de comunicação que trabalham com sinais discretos (distintos ou digitais). Mas há muitos sistemas de comunicação em que os sinais não são discretizados, comportando-se como funções contínuas.

O relógio digital e o calendário são exemplos de **sistemas discretos**. Modificam-se não de forma contínua, mas através de "saltos". A par deles, temos os **sistemas contínuos**, como é o caso, por exemplo, de um termômetro de mercúrio, de um relógio de ponteiros ou de um violino. Neste último caso, poderíamos dizer que há um número infinito de tons entre a nota mais baixa e a nota mais alta.

Muito antes de ser objeto da Ciência, o problema da continuidade e a questão correlata da infinitude já era objeto de análise por parte da Filosofia, e em particular da Filosofia da Matemática. Na Grécia antiga, a escola pitagórica dissolveu-se precisamente por não conceber uma reta numérica contínua – concepção que entrava em choque com a descoberta do Teorema de Pitágoras, que em certos casos resulta em números irracionais.

O **infinito** é, de fato, uma das mais pensadas categorias filosóficas, e talvez a responsável pelo maior número de paradoxos (Cf. MORRIS, 1998). Não pretendemos ainda neste capítulo, contudo, desenvolver considerações epistemológicas sobre essa categoria, mas apenas mostrar de que maneira a Teoria da Informação a formaliza matematicamente, mostrando ser possível o tratamento algébrico de uma entidade sobre a qual ainda hoje pouco se sabe do ponto de vista filosófico.

Os casos de informação contínua aceitam os mesmos postulados e teoremas empregados na análise da informação discreta, com algumas adequações. A informação contínua pode, portanto, ser considerada caso especial da Teoria da Informação, chamada por alguns autores de "Teoria Física da Informação".

O tratamento dos casos de informação transmitida por signos contínuos se dá por via da utilização do **cálculo infinitesimal**,

procedimento até certo ponto polêmico na história da Matemática. Já G.W.F. HEGEL acentuava que o cálculo infinitesimal, descoberto por Leibniz, goza largamente de incompletude. "Até o dia de hoje, ... a Matemática ... não pode ... justificar, por si própria, de um modo matemático, as operações que repousam sobre aquela transição (as operações de limitação) ... porque elas não são de natureza matemática" (APUD LÊNIN, 1989: p. 189). Já para ENGELS o cálculo infinitesimal "tornou possível, pela primeira vez, que a Ciência representasse, matematicamente, processos e não apenas estados" (1979: p. 191).

A respeito das "operações" referidas acima por Hegel, SHANNON afirma que "A teoria matemática da comunicação pode ser formulada de maneira rigorosa e axiomatizada (para) ambos os casos, distintos e contínuos. Ao focalizarmos por esse ângulo, as liberdades ocasionais ... relativas aos processos limitativos podem ser justificadas" (1975: p. 87).

Mas deixemos as considerações epistemológicas para mais tarde, limitando-nos aqui primeiramente à mera descrição matemática dos sinais contínuos.

Um **sinal contínuo** pode ser representado por uma linha com infinitos pontos (caso do violino). Pode parecer que esse sinal possui uma quantidade infinita de informação (já que uma linha contém infinitos pontos). Isso em certa medida é verdade, mas essa é uma verdade completamente destituída de valor prático. O fato é que o valor do sinal contínuo muda gradativamente no tempo, de forma que podemos dizer com relativa precisão o valor do sinal a partir de seu comportamento imediatamente precedente (dependência seqüencial). É essa "mudança" que torna tratável matematicamente o objeto contínuo, através da discretização das "unidades" mínimas da mudança.

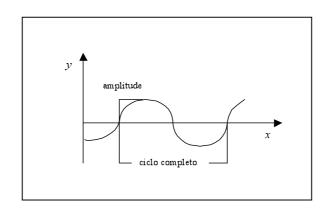
Pode-se objetar, conforme salienta EDWARDS (1971: p.118), que sinais contínuos só se tornam tratáveis através do "artificio" matemático de discretizá-los a partir da mudança de seu comportamento no tempo. O problema é que não podemos fugir disso, pois qualquer instrumento de medida possui a mesma limitação, de modo que "nossos sinais só podem

ser classificados num número finito de categorias" (EDWARDS, 1971: p. 118).

Seria o caso de reconsiderarmos a distinção entre sistemas discretos e contínuos? Talvez, mas apenas se não houvesse instrumentos de medida que otimizam a mensuração de sistemas contínuos: as **funções contínuas**. Alguns dizem que as funções contínuas são "invenções artificiais", o que não lhes tira contudo o valor prático. Trata-se de aproximações das fórmulas digitais. Sem elas, poderíamos aplicar a álgebra dos casos discretos chegando aos mesmos resultados, mas com desperdício imenso de trabalho e de tempo.

Passemos então à descrição matemática de um sinal contínuo. Para tanto, faz-se mister a recordação de algumas noções matemáticas fundamentais, tais como:

- a) **Onda Senoidal**. É a curva gerada pela rotação de um ponto em uma trajetória circular, com velocidade uniforme e marcando, em função do tempo, a distância vertical entre o ponto e uma linha traçada pelo centro do círculo. A relevância das ondas senoidais para a Teoria Física da Informação deriva de um teorema primeiramente enunciado por Fourier o de que "qualquer curva contínua pode resolver-se em certo número de ondas senoidais. De outro lado, essas ondas, somadas, reproduzem a curva original" (EDWARDS, 1971: p. 125).
- b) **Ciclo**. È a extensão da curva senoidal produzida por uma revolução do ponto.
- c) **Amplitude da curva**. Tem como valor máximo o raio do círculo, e como valor mínimo o mesmo raio negativo.



- d) **Freqüência**. O número de ciclos completos por segundo dá a medida da freqüência em ciclos por segundo (cps). Qualquer sinal auditivo requer para sua completa especificação um gráfico com três coordenadas: amplitude, freqüência e tempo. Freqüência e tempo se relacionam estreitamente, pois a freqüência é uma função do tempo.
- e) Largura de Banda. Um valor aproximado do alcance da influência intersimbólica em sinais contínuos é dado pela largura de banda da freqüência, que fornece um valor aproximado de tempo entre valores independentes do sinal. Se ela é larga, o tempo entre sinais independentes é pequeno; do contrário é grande. Largas bandas de freqüência são o material constituinte das freqüências moduladas que possuem taxa de ruído menor.

Os conceitos expostos acima são derivados da análise de Fourier. Ele criou uma função de tempo expressa em termos de componentes periódicos, ou freqüências, cada uma expressando o estado do sinal em um momento do tempo. Um sinal possui tantos componentes de freqüência independentes quantos são os seus valores independentes no tempo. O fato de que é possível dividir a freqüência de um sinal em componentes periódicos é que torna possível a quantificação de um sinal contínuo.

Os componentes periódicos são propriedades globais de todo sinal contínuo. Podemos determinar o valor do sinal em um ponto a partir das propriedades globais da freqüência, ou podemos obter as propriedades da freqüência a partir do valor do sinal em seus vários pontos. Esse fato, aliado à recordação de que, em um sinal contínuo, o valor do sinal em um ponto pode ser predito com razoável precisão do valor precedente, põe em relevo que estamos lidando com seqüências ergódicas.

O sinal contínuo é descrito matematicamente como função de tempo. Na verdade, como conjuntos e agregados de funções. "Um grupo de funções, como o nome ... indica, é uma classe ou uma coleção de funções

ordinariamente de uma variável, o tempo ... Um agregado de funções é um grupo de funções conjugadas a uma medida de probabilidade, por meio da qual poderemos determinar a probabilidade de uma função pertinente ao grupo de possuir certas propriedades" (SHANNON, 1975: p. 88). Diz ainda SHANNON: "Se um agregado é ergódico, poderemos grosso modo declarar que cada função no grupo é típica do agregado total" (1975: p. 90).

SHANNON esclarece também que

Um agregado de funções é a representação matemática mais apropriada das mensagens produzidas por uma fonte contínua, de sinais produzidos pelo transmissor, e do ruído perturbador. A Teoria de Comunicação está propriamente dimensionada, e foi enfatizado por Wiener, não com operações sobre funções específicas, porém com operações sobre agregados de funções. Um sistema de comunicação não é projetado para uma função específica da oratória, e muito menos ainda uma curva senoidal, e sim para o agregado total das funções de oratória. (1975: p. 92)

O sinal contínuo é membro de um conjunto com largura de banda W (faixa de freqüências) e duração T, e, por ser um sistema ergódico, pode ser completamente especificado se conhecermos seu valor em 2WT pontos de amostra. Quanto mais freqüente for determinada amostragem, com tanto mais precisão poderemos determinar a forma da curva do sinal. Podemos então dizer que o sinal possui 2WT graus de liberdade e pode ser representado por um ponto no espaço-sinal de 2WT dimensões.

Isso é o que nos assevera o teorema 13 de Shannon, onde F(t) é um somatório de funções, cada uma correspondendo a um ponto no espaço de fase de dimensões 2TW. Todos os pontos fora de 2WT são iguais a zero. Um subgrupo de funções de 2WT é uma região neste espaço. "Um agregado de funções de duração limitada em faixa será representado pela distribuição de probabilidades p (x1, ..., xn) no espaço dimensional correspondente a n" (SHANNON, 1975: p. 93).

Como calcular a **entropia de uma fonte contínua**? Se a fonte contínua possui poucos estados possíveis, o cálculo é bastante simples, pois basta discretizá-la e aplicar a mesma álgebra de sistemas distintos.

Mas vejamos outro exemplo: o do violino. Se tivéssemos um ouvinte superaperfeiçoado, capaz de captar 1 milhão de tonalidades sonoras

diferentes, como procederíamos para calcular a entropia de uma fonte com tão diverso repertório? A enorme quantidade de cálculos requerida inviabilizaria o procedimento adotado nos casos discretos. É aqui que a noção de função contínua torna-se uma técnica valiosa.

Se colocarmos em plano cartesiano a relação entre P(i) e P(i) Log P(i) obteríamos uma curva, cuja área representaria o 1 milhão de tons sonoros diferentes. A técnica matemática que nos permite calcular o valor dessa área chama-se **integração** – uma das duas modalidades de cálculo infinitesimal. A fórmula da operação expressa o valor de H em qualquer caso contínuo:

$$H = \int P \log P \cdot d$$

sendo d a densidade da distribuição de probabilidades da amostra.

Na entropia de dois eventos relacionados logicamente entre si tudo que temos a fazer é usar probabilidades condicionais. Podemos então dizer que o cálculo da incerteza é praticamente o mesmo nos casos discreto e contínuo. A diferença é a substituição do somatório Σ pela integração Γ .

Uma importante analogia entre os casos discreto e contínuo é descrita por SHANNON no trecho que segue:

No caso discreto a entropia foi relacionada ao logaritmo da probabilidade das seqüências longas, e ao número de razoavelmente prováveis seqüências de comprimento longo. No contínuo a entropia é relacionada de maneira semelhante, posto que é também relacionada ao logaritmo da densidade de probabilidade para uma série longa de amostras, e ao volume razoável de altas probabilidades no espaço da função. (1975: p. 98)

Mas há aqui também uma diferença fundamental entre os casos discreto e contínuo: "Nos distintos, a entropia mede de maneira absoluta o acaso ou fortuidade de uma variável de chance. Nos casos contínuos a medida é relativa ao sistema de coordenadas. Modificando as coordenadas, as entropias, ordinariamente, se modificam" (SHANNON, 1975: p. 96).

Essa afirmação é surpreendente, pois revela o caráter incompleto das operações de limitação. Elas não podem ser explicadas, conforme acentuava Hegel em citação acima, a partir de supostos do âmbito da própria análise matemática. Isso confere ao cálculo integral uma aparência de artificialidade, pois os resultados dependem do sistema de medida adotado. Mas a aparência de artificialidade só advém àqueles cujo pensamento ainda está embotado das exigências do ideal axiomático clássico.

De fato, podemos inclusive calcular a mudança de entropia resultante da modificação do sistema de coordenadas. Para isso é utilizada uma variável denominada **Jacobiano** (J). Essa variável mede o grau de transformação das coordenadas. A nova entropia, então, não é mais que a anterior menos o logaritmo do Jacobiano previsto.

Caso especial do cálculo da modificação do sistema de medida dá-se quando há apenas "rotação de coordenadas" (preservando o estado anterior). Neste caso, J=1 e H (anterior) = H (posterior).

Em resumo, nos casos contínuos a entropia poderá ser considerada como representando e medindo o acaso, a fortuidade relativa a um padrão pré-suposto. A dependência do sistema de medida não diminui a importância da definição da entropia para os casos contínuos, pois é antes na prática que o conhecimento mostra seu valor, não apenas e exclusivamente por critérios formais. Ademais, conceitos como o de capacidade C, como veremos, dependem de uma diferença entre entropias, e esta diferença não depende diretamente da estrutura de coordenadas.

As entropias contínuas possuem a maioria das **propriedades** dos casos discretos. Em particular temos que:

- a) Se i é limitado a um certo volume V em seu espaço, H(i) é máximo e igual a Log V quando p(i) é constante no volume;
- b) $H(i;j) \le H(i) + H(j)$; a igualdade ocorre se i e j são autônomos;
- c) $H(i,j) = H(i) + Hi(j) e Hi(j) \le H(y)$.

Como nos assevera Shannon, em alguns casos é menos conveniente trabalhar com a entropia de um agregado que com uma grandeza chamada "**potência entrópica**", valor médio igual à potência de um ruído

branco limitado à mesma faixa do agregado original e com a mesma entropia.

Mas aqui já vamos entrando na questão do ruído em canais contínuos. Comecemos pela definição de "**ruído térmico branco**". Conforme explica SHANNON,

O ruído térmico gaussiano tem a propriedade peculiar de poder absorver qualquer outro ruído ou sinal do agregado total, que possa a ele ser adicionado com uma potência de entropia resultante aproximadamente igual à soma da potência do ruído branco com a do sinal ... admitindo que: a potência do sinal seja reduzida, em determinado sentido, comparada à do ruído. Consideremos a função de espaço associada com estes agregados tendo 'n' dimensões. O ruído branco corresponde à distribuição esférica de Gauss neste espaço. O sinal do agregado de funções corresponde a uma outra distribuição de probabilidade, que essencialmente não terá que ser de Gauss. (1975: p. 103)

O ruído térmico branco é uma espécie de ruído perfeito, ideal. Chama-se térmico porque corresponde à agitação térmica das moléculas, uma repetição errática de choques elementares. A densidade dos choques é tão grande que eles se tornam indiscerníveis. O ruído térmico cobre todas as faixas possíveis da freqüência audível ou visível (daí porque possui entropia máxima). Exemplos de elementos sígnicos morfologicamente semelhantes ao ruído térmico são uma chuva sobre chapa metálica, os aplausos de uma multidão ou o chuvisco de uma TV fora do ar.

O ruído térmico branco encobre ruídos indefinidos. Se um ruído branco é transmitido à alta potência, qualquer que seja o ruído perturbador, ele será recebido como ruído branco, o que é demonstrável matematicamente.

No combate ao ruído em canais contínuos, são freqüentemente utilizadas as operações de **predição e filtragem**.

Estudando o comportamento passado e presente de um sinal até onde vai o alcance da influência intersimbólica, podemos predizer seu comportamento futuro. Para além da influência intersimbólica, podemos predizer apenas valores médios. Esse fato possui também implicações epistêmicas, na medida em que a possibilidade de previsão de

acontecimentos futuros é uma das mais fortes evidências da objetividade do conhecimento.

O equipamento que opera a predição chama-se **preditor**. A operação é mais complexa quando há ruído, pois é preciso separar a informação "boa" do ruído, examinando, com base no comportamento pregresso do sistema, as diferenças entre os valores médios dos constrangimentos intersímbolos do sinal desejado e do ruído, e, a partir daí, estimando com base nessas diferenças a melhor aproximação para o comportamento do sinal no período futuro.

Se o processo de separação sinal-ruído é executado por um equipamento, ele é chamado de filtragem, e o equipamento é um **filtro**. Matematicamente a operação de filtragem é descrita através de um agregado de funções submetido a um operador 'T', que será invariante se a alteração da entrada altera da mesma forma a saída. Shannon examina esse fenômeno no teorema 14. Se o agregado de entrada é estacionário ou ergódico e T é invariável, então a saída também será estacionária ou ergódica. A filtragem é em geral uma operação invariante – promove apenas transformação linear de coordenadas (os componentes da freqüência) – , ao contrário da modulação, que pode ser invariante apenas em algumas situações.

Podemos nesta altura deduzir a fórmula para a **capacidade C de um canal contínuo** ruidoso. Recordemos inicialmente os elementos do canal contínuo e sua expressão matemática:

- a) Entrada, dada por uma função de tempo [f(t)];
- b) Saída. É também função de tempo [f(t)];
- c) 'W'. Amplitude da faixa de freqüências;
- d) '2Wt'. Especifica o sinal na faixa W e no tempo t;
- e) P(i). Estrutura estatística do sinal, especificada por uma distribuição dimensional finita de funções;
- f) Pi(j). Estatística do ruído, dada por uma distribuição condicional de probabilidades;
- g) R = H(i) Hi(j). Razão de transmissão;

 h) Capacidade C. Máximo de R quando a entrada varia sobre todos os agregados totais possíveis. Conforme já afirmamos acima, R e C são autônomos do sistema de coordenadas, e R jamais é > C.

O teorema 16 de Shannon fornece a razão de transmissão em casos contínuos. Ela é dada por

$$R = H(j) - Hi(j)$$

C é o máximo de R que pode ser transmitido por segundo por um canal, com ambigüidade indefinidamente pequena. Vamos supor que haja um sinal de amplitude máxima 's' circulando por um canal onde há ruído térmico branco de amplitude máxima 'n'. A amplitude do sinal na recepção será s+n. Sabendo que o âmbito de freqüência dos sinais está na faixa W, devemos retirar amostras a 2W por segundo, a fim de evitar erros devido a amostragens pouco freqüentes.

Devemos a partir daí decidir o número de categorias para a classificação das amostras. Vamos supor, por exemplo, s = 21 e n = 4. A amplitude máxima do sinal recebido é, portanto, de 24 volts. Sendo o erro máximo de recepção = 3, as amplitudes recebidas devem ser acrescidas de 3 unidades cada, e o número de categorias com que trabalhamos será de

$$\frac{s+n}{n} = 8$$

Portanto, no caso em questão teremos 8 faixas de amplitude, cada qual separada da outra por 1/2W segundos. Para que o valor da transmissão T seja máximo (a capacidade é a taxa máxima de transmissão) os componentes da freqüência devem ser eqüiprováveis, caso em que temos:

$$T = Log \frac{s+n}{n}$$
 bits/amostra

Como há 2W de amostras por segundo temos

$$T = 2W Log \frac{s+n}{n} bits/s$$

Porém, é mais conveniente medir a potência do sinal (em watts) que sua amplitude (em volts). A potência é o quadrado da amplitude. Assim, temos:

$$T=2W \log \sqrt{\frac{s+n}{n}} = W \log \frac{s+n}{n}$$

Esse é o teorema 17 de Shannon.

O caso anterior, no entanto, trata de um canal contínuo afetado por ruído térmico branco, a perturbação ideal.

Para os casos em que encontramos ruídos indistintos, em lugar dos 'ruídos térmicos indeterminados' descritos acima, Shannon não obteve qualquer sucesso na determinação de uma fórmula explícita para a capacidade do canal, mas alcançou meios úteis para determinar os limites superiores e inferiores da capacidade destes canais, quando sujeitos a outros ruídos diferentes do térmico. Shannon também deduziu os limites para a capacidade dos canais quando se especifica não somente a média de força do transmissor, mas também a força instantânea de apogeu ... (além disso) Shannon obteve alguns resultados que ... quando aplicados a um tipo generalizado de mensagem contínua, caracterizam a fidelidade de recepção da mensagem, os conceitos de proporção em que a fonte gera a informação (expostos acima), (e) a média de transmissão. (WEAVER, 1975: p. 24)

O limite superior referido acima para o caso de **ruídos indistintos** é igual ao caso em que o sinal recebido é ruído branco; portanto, a capacidade C é sempre menor ou igual à do caso em que um ruído branco é **recebido**. E o limite inferior? Ocorre quando um ruído branco de potência P é **transmitido**. Ou seja: a capacidade C é sempre maior ou igual ao caso em que um ruído branco é emitido.

Devemos observar ainda que, se a potência P cresce, os limites superior e inferior se aproximam da razão

$$W Log \frac{P+N}{N_1}$$

que é o máximo da capacidade C. Isto é: se P cresce, C tende à maximização. Isso é o que nos diz o teorema 19 de Shannon.

A respeito da **fidelidade** da transmissão em um canal contínuo, SHANNON afirma que

O sistema de comunicação como um todo (incluindo-se a fonte e o sistema de transmissão) é descrito pela função de probabilidade P(i;j), como se produzindo a mensagem i a saída será j. Se esta função é conhecida, as características totais do sistema observado do ponto de vista da fidelidade serão conhecidas. Qualquer avaliação de fidelidade deverá matematicamente corresponder a uma operação efetuada sobre P(i;j). (1975: p. 118)

Isso significa que a fidelidade é uma avaliação da eficácia do sistema, dado por uma valoração v de P(i;j). Essa valoração é obtida através de uma média da função P(i;j) sobre o conjunto dos possíveis valores de i e j. Para isso, basta considerarmos que a fonte e o sistema são ergódicos, e que a observação de quaisquer i e j produzirá uma avaliação próxima da exata.

O conteúdo físico de P(i;j) é a distância (não no sentido métrico) entre i e j. O caso distinto surge aqui com um caso especial, onde P(i;j) é o número absoluto de j's que diferem de i dividido pelo número total de i. É possível, a partir disso, como faz Shannon, definir uma **quota para a geração de informação em uma fonte relativa à avaliação da fidelidade**. É isso o que faz o teorema 21, firmando que se uma fonte produz informação à taxa R_1 com fidelidade v_1 , podemos codificar e transmitir a saída da fonte com fidelidade tão próxima quanto desejarmos de v_1 , contanto que R_1 seja \leq C. A variante desse teorema para sistemas discretos é o teorema 11.

O teorema 22 fornece essa mesma quota (para a geração de informação levando-se em conta a avaliação da fidelidade) para uma fonte de ruído branco. Nesse caso a quota R é, como já vimos, o mínimo.

Já o teorema 23 de Shannon trata do caso em que a fonte produz qualquer mensagem que não ruído branco. Nesse caso é possível determinar os limites inferior e superior de R, sendo que o inferior ocorre quando o ruído branco é transmitido. O superior ocorre no caso em que os diversos i são transmitidos completamente por acaso.

13. Questões Semânticas

A Semântica é a parte da Teoria Geral da Comunicação responsável pelo estudo dos significados. Trata-se de uma disciplina que ainda hoje tateia na busca de definições mais unânimes e rigorosas para seus conceitos de base.

O principal desses conceitos é o de significado. A definição do significado de "significado" é talvez o maior problema semântico, estando intimamente relacionado ao conceito de verdade e de objetividade no conhecimento. Ainda hoje não existe unanimidade em relação ao problema do significado, cuja essência reside certamente na possibilidade da representação.

Quem diz Semântica não diz Ontologia. Para MASER (1975: p. 102), a distinção entre Semântica e Ontologia é semelhante à distinção entre sentido e significado. Sentido é a imagem mental de um conceito, sendo esse sim o objeto da Semântica. Significado, por outro lado, seria o valorverdade de um enunciado.

Para alguns autores (Cf. BONSACK, 1970: p. 196) a Teoria da Informação pode facilmente alcançar implicações semânticas e ser estendida para dar conta de fenômenos da significação.

De fato, são muitos os problemas semânticos sugeridos pela Teoria da Informação. Sabemos que a fim de que uma mensagem efetivamente informe o receptor, deve haver uma probabilidade – para algum receptor – relativa à ocorrência de um evento que possa ser trocada pela recepção da mensagem.

Nos teoremas deduzidos anteriormente partimos da hipótese de que a probabilidade de um evento é a mesma da mensagem que o anuncia. Essa hipótese será sempre verdadeira no caso em que a informação transmitida for sobre um único assunto. Neste caso, a probabilidade de ocorrência p da mensagem é igual à probabilidade P do evento que é comunicado.

Se a linguagem, ao contrário, relata um grande número de assuntos, então p<P. Devemos lembrar que – Log p nos dá a taxa de informação lingüística, enquanto - Log P nos fornece a taxa de informação semântica. Na análise de processos de transmissão só a informação lingüística interessa.

De forma geral, na análise da transmissão trabalhamos com fontes ergódicas de informação, onde as probabilidades a priori de ocorrência de toda mensagem possível são iguais à freqüência relativa de ocorrência dessas mensagens. Porém, é necessário notar que o comportamento dos eventos extralingüísticos possui, em grande parte das vezes, caráter não-ergódico, o que nos conduz à conclusão de que a informação lingüística é quase sempre ergódica, enquanto que a informação semântica é quase sempre não-ergódica.

Há algum método para o cálculo de informação semântica? Carnap e Bar-Hillel trabalharam matematicamente o conceito de informação semântica através da introdução da linguagem formal L, que possui 'n' substantivos Ai e P predicados Pj.

Na linguagem L podem ser formados n.P enunciados atômicos da forma Pj(Ai). Incluindo as negações, são 2.n.P enunciados elementares.

A partir daí pode-se definir uma descrição de estado Z, que é uma conjunção de n.P enunciados elementares. Há $2^{n.P}$ descrições Z de estado.

O elemento de conteúdo i é definido como disjunção (dos enunciados n.P, já que Z é conjunção). O posto ou abrangência de um enunciado P é dado por R(P) e corresponde ao número da descrição de estado Zi para a qual vale que Zi implica P.

Se P é tautologia, então

$$R(P)=2^{n.P},$$

Se P é contradição, então

$$R(P) = 0$$

Já o conteúdo de um enunciado P, dado por Cont(P) é dado pela número do elemento de conteúdo para o qual vale que P implica i. Se P é tautologia, então

$$Cont(P) = 0$$

Se P é contradição, então

$$Cont(P) = 2^{n.P}$$

Se P é qualquer enunciado elementar, seu conteúdo semântico é

$$\frac{1}{2} \cdot 2^{n.P}$$

Portanto, do exposto acima podemos perceber que o conteúdo semântico de um enunciado é a abrangência de sua negação, ou seja:

$$Cont(P) = R(\sim P)$$

"Dito de outra maneira, o conteúdo semântico de uma afirmação P ... corresponde ao número de possíveis estados que, numa linguagem L, são eliminados pela validade de P. O conteúdo semântico determina um 'campo de ação' do significado" (MASER, 1975: p. 172).

Uma função formalizada para Cont(P) é

$$Cont(P) = \frac{R(\sim P)}{2^{n.p}}$$

de onde podemos extrair uma definição para a informação semântica de uma sentença:

$$I(P) = -Log \{1 - Cont(P)\} = -Log \frac{R(P)}{2^{n,p}}$$
 bits

"Além disso, se I(P) aumenta, então diminui R(P), porquanto um conhecimento semântico, ou de conteúdo, admite, com o aumento de possibilidades, o aumento do número de descrições de estado eliminadas. Uma tautologia não tem informação semântica; uma contradição encerra informação semântica infinitamente grande" (MASER, 1975: p. 172-173).

O método de Carnap / Bar-Hillel é muito útil como fundamento para a discussão sobre a relação entre sintático e semântico, embora essa discussão exceda os objetivos deste trabalho.

Capítulo 2

IMPLICAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO

Ao desenvolver uma teoria quantitativa da informação, é natural que sejamos inclinados a adotar certas idéias de base sobre a natureza da informação. Muitas vezes, no calor das exigências imediatas do dia-a-dia, seguimos aceitando de forma irrefletida os postulados básicos colocados. É como se, acordados, dormíssemos um sono repleto de certezas.

Certos conceitos básicos vão com isso permanecendo, na maioria das vezes imóveis, intocados, imersos no embriagante fluido da trivialidade. Chegam às vezes a constituir visões de mundo. Talvez por isso adquiram freqüentemente a força de verdadeiros preconceitos, axiomas que, de tão solidificados pela experiência, chegam a parecer algo de inato, ou até de sagrado.

Por vezes, como que ao acordar desse sono profundo por um qualquer ruído que nos perturba, nos damos a perguntar a respeito da natureza de conceitos como Informação, Entropia e Tempo. Só quando isso ocorre damos conta de que o Homem ainda se pergunta sobre o que significam categorias que ele, não obstante, é capaz de definir matematicamente.

Esse fato evidencia que mensurar é importante, mas não é tudo. A Ciência sente necessidade de uma reflexão de caráter mais abarcante, qualitativo, capaz de vislumbrar a essência de tais conceitos em uma síntese totalizante sobre o conhecimento. Essa reflexão integradora, que busca menos novos conhecimentos que a generalização dos conhecimentos existentes, é o objeto da **Epistemologia**, a Ciência da Ciência...

Há indissolúveis vínculos entre Ciência e Filosofia da Ciência. Há também fortes tensões, e por vezes um certo descompasso. Como assevera ENGELS (1979: p. 186): "Os homens de Ciência podem adotar a atitude que quiserem, mas estarão sempre dominados pela Filosofia. Trata-se apenas de saber se querem ser dominados por uma filosofia que, embora má, está na moda; ou por uma forma de pensamento teórico fundado sobre a familiaridade com a história do conhecimento e de suas aquisições".

Neste capítulo, pretendemos expor o pensamento de alguns autores a respeito do problema da natureza da Informação, evidenciando implicações de cunho epistemológico no debate sobre a definição qualitativa desse conceito (antes nos limitamos a apresentar a definição do conceito sob o ponto de vista matemático).

É importante lembrar que, aqui, a palavra ainda está com a Ciência. No capítulo 4 ouviremos a tradição filosófica e suas aquisições a respeito do problema da objetividade do conhecimento e temas correlatos.

1. Algumas Visões sobre a Informação

Uma das idéias constantemente adotadas quando se busca a essência do fenômeno da informação é a analogia entre a **informação** na Teoria da Comunicação e a **energia** na Física. Essa analogia é a nosso ver pertinente, embora possa também gerar visões unilaterais se se perde de vista as diferenças substanciais entre os dois conceitos.

Shannon e Weaver já estavam atentos a essa analogia ao utilizarem o termo "entropia" para designar a informação média. Além disso, em seu clássico trabalho "A Teoria Matemática da Comunicação", Shannon apela

várias vezes para a comparação entre as duas entidades, como no exemplo, citado anteriormente, em que compara a codificação à atividade de um transformador de energia.

De fato, a energia é um conceito unificador que simplifica o entendimento de todas as transformações físicas e químicas, espécie de entidade mensurável relativa às atividades físicas de transformação.

Da mesma forma, a informação é uma entidade que torna mensuráveis os processos de comunicação (ou de troca de representações). É também portanto um conceito unificador, que facilita o estudo do que acontece em um processo de comunicação (que é também um processo de transformação).

Outros autores tentam alargar o conceito quantitativo de informação elaborado por Shannon, conferindo-lhe uma abordagem mais qualitativa. Brillouin e Zeman são provavelmente os mais paradigmáticos autores empenhados nesse esforço.

BRILLOUIN (p. 594) assinala que, na Física de fenômenos térmicos, a perda de entropia de um corpo corresponde ao ganho correlato de entropia em outro. Isso quer dizer que, na Termodinâmica, a entropia possui caráter essencialmente conservativo.

Já na troca de informações o mesmo não ocorre, pois determinada quantidade de informação, após ter sido transmitida, não necessariamente está perdida para quem a emitiu. Isso, segundo BRILLOUIN (p. 595), forçaria uma distinção entre dois conceitos distintos de informação:

- a) **Informação Absoluta**. Também chamada de "estrutural", existe assim que uma pessoa a possui, sendo sempre invariável do ponto de vista quantitativo. A informação absoluta tem a ver com a idéia de informação passada, retroadquirida ou armazenada;
- b) **Informação Distribuída**. Conceito mais próximo do elaborado por Shannon, seria o produto da quantidade de informação absoluta pelo número de pessoas que a adquirem.

A Informação Absoluta jamais se perde. Cresce sempre cumulativamente. Um exemplo de processo de aumento da informação social absoluta seria o avanço do conhecimento científico. Já a Informação

Distribuída comporta-se de modo contrário, na medida em que está sujeita à perda.

Brillouin introduz ainda a noção de "**neguentropia**", na acepção de "informação". O termo "neguentropia" advém da abreviação em inglês para "entropia negativa" e, conforme detalharemos mais tarde, é utilizado por vários outros autores, para os quais a identificação entre informação e entropia parece fugir ao bom senso.

Com base nos conceitos acima, BRILLOUIN postula uma **lei da degradação da informação absoluta**: "Quando uma situação excepcional é criada em algum lugar, isso corresponde à alta neguentropia, e sua evolução normal se dá sempre em direção à baixa neguentropia, de acordo com o 2. Princípio Termodinâmico" (595-596).

A distinção entre informação absoluta, estrutural (interna, tal qual a estrutura de um sistema) e informação sígnica, distribuída (externa, circulante) é também adotada por J. Zeman. Para ele, é possível expressar a relação entre ambas através da noção de "densidade de informação".

Nessa perspectiva, um sistema altamente organizado pode ser caracterizado por um alto grau de informação estrutural. A estrutura de um sistema organizado representa em certa medida o registro condensado de seu fluxo temporal. Assim, a hierarquia de graus qualitativos da matéria na evolução – da matéria inorgânica ao pensamento – pode ser vista como efeito da acumulação de "neguentropia absoluta".

A nosso ver, o que leva autores como Brillouin e Zeman à tentativa de dissociar os conceitos de entropia e informação – utilizando para isso o termo "neguentropia" – é o fato de terem eles em mente apenas o **conceito termodinâmico de entropia**, identificado usualmente ao "grau de desordem" de um sistema. Como a informação, mesmo no sentido intuitivo, não é associada à desordem, mas à organização funcional de uma mensagem, então a ligação entre entropia e informação feita por Shannon soa para muitos como um contra-senso.

Não devemos esquecer também da existência de uma certa "mentalidade anti-entrópica" referida por WICKEN (1987: p. 6), para quem

o conceito de entropia abala velhas pré-concepções muitas vezes assentadas sobre o princípio aristotélico de identidade.

Também acreditamos ser desnecessária e até fruto de mal entendidos a tentativa de dissociação dos conceitos de informação e entropia. Tentativas como essa só reforçam a necessidade de compreender melhor as peculiaridades do **conceito informacional de entropia** (o qual a nosso ver não tem o sentido de "desordem"), bem como suas semelhanças e diferenças com a entropia termodinâmica. Esse procedimento pode ser mais útil (embora nem sempre mais fácil) que a criação de um conceito como "neguentropia", noção até certo ponto imprecisa, posto que, do ponto de vista matemático, não há entropias negativas, mas apenas, quando muito, diferenças negativas de entropia.

Além disso, a idéia de "informação absoluta" de Brillouin também nos parece gerar um certo contra-senso. Pois, pelo menos se tomarmos por base o conceito clássico de informação elaborado por Shannon, não existe nada como uma "informação absoluta". Em primeiro lugar porque a informação é uma entidade que só existe dentro do processo de transmissão (é a "essência", o material transportado pela mensagem). E, por fim, porque aquilo que já é adquirido – o que já está armazenado estruturalmente – não será por isso mesmo novidade alguma, sendo apenas e tão somente a pura redundância.

2. Objetividade da Informação

Talvez o mais proeminente dos problemas epistemológicos relacionados ao conceito de informação seja o do caráter dessa categoria, isto é, o de seu 'status' quando vista sob o aspecto da relação fundamental do conhecimento, entre sujeito e objeto.

Nessa perspectiva, a discussão central que se coloca na origem da definição da informação é a da **objetividade** desse conceito. A Teoria da Informação, ao introduzir um conceito que não se refere a qualquer coisa em si própria, mas ao modo de organização das coisas, isto é, à pura relação e à pura determinação, leva ao limite a reflexão sobre o problema do conhecimento.

Dito de outra forma, a questão que aqui se coloca é a seguinte: a informação descrita matematicamente tem existência objetiva? Ou não passa de uma abstração heurística com características passíveis de mensuração?

Examinaremos a seguir o que dizem sobre o assunto alguns especialistas em informação.

Em "Information Theory", S. GOLDMAN desenvolve a opinião segundo a qual a informação tem existência objetiva. Tal opinião transparece em toda a sua exposição, com destaque para o trecho em que busca calcular a quantidade total de informação que pode ser gerada pelo mundo exterior.

Ao desenvolver nossa teoria quantitativa, adotamos certas idéias sobre a natureza da informação. Nós a consideramos algo como uma essência ou parte pertinente de todas as mensagens, tais como, por exemplo, aquelas que chegam ao cérebro **vindas do mundo exterior**. Acreditamos que a informação é o material fundamental usado no pensamento e que forma a base da ação do intelecto. Temos uma intuição de que a informação como assim descrita **realmente existe**. Um dos mais importantes resultados desse livro é que temos demonstrado a existência de uma entidade que tem as propriedades descritas para a informação e que pode ser mensurada quantitativamente (1953: p. 289)

Pela mesma trilha caminha E. EDWARDS (1971). Esse autor vê nas influências intersimbólicas **leis objetivas** atuando ao nível da estruturação da linguagem – algo como mecanismos auto-reguladores, determinações reais.

Também François BONSACK (1970) busca objetivar o conceito de informação, através da identificação deste conceito com a noção de variedade ou **diversidade dos objetos** do mundo. Para ele, identificar entropia à incerteza corresponde a interpretações de cunho subjetivista, embora ele próprio reconheça que mesmo essa interpretação (a da "incerteza") possa reconduzir sem dificuldades à noção objetiva.

Bonsack polemiza com a idéia de que "sem consciência não há informação". Para os subjetivistas (também chamados 'idealistas subjetivos') um sistema matemático funcionando na ausência do Homem não transmite informação, sendo, se muito, mera "cadeia causal", o que

para Bonsack é correto apenas em certo sentido. Segundo esse autor, o idealismo subjetivo, para negar a possibilidade de tratamento objetivo do conceito de informação, encontra respaldo ora no relativismo ('só existe informação **para** um sujeito determinado'), ora na impossibilidade de dar tratamento matemático adequado ao problema semântico.

Do lado contrário desses autores temos aqueles que consideram a informação mera 'abstração heurística', no sentido de uma entidade matemática muito útil para os propósitos do Homem, mas sem qualquer respaldo objetivo.

Em meio a essa corrente encontra-se Abraham Moles. Ele aborda a Teoria da Informação do ponto de vista do chamado método psicológico, e, em particular, da Teoria da Forma, a Gestalt, método de inspiração fenomenológica.

Moles coloca a Teoria da Informação no contexto dos assim chamados "métodos heurísticos", espécie de "método de apresentação e variação fenomenológica". Sob esse ponto de vista, a informação não tem existência objetiva e a redundância não passa de "medida da inteligibilidade das formas", expressão do processo de interferência da inteligência sobre a estruturação da mensagem. Para MOLES, mensagens são "formas complexas", "padrões fenomênicos": "Toda Forma (Gestalt) ... exprime o predomínio do inteligível sobre o perceptível" (1969: p. 94). E ainda: "Um símbolo é um modo de agrupamento constante dos elementos , conhecido a priori. Uma regra define um conjunto de modos de reunião respeitando essa regra, marca do inteligível sobre a informação" (1969: p. 98-99).

Moles vê nas probabilidades poligramáticas (freqüências simbólicas mais constrangimentos intersimbólicos) a expressão do pensamento sobre o modo de estruturação da linguagem. Com relação a isso, já Platão – um dos maiores pensadores idealistas – havia sugerido o conceito lingüístico de "ligação dos enegramas".

Como decorrência dessas concepções, em Moles o cálculo da informação passa a depender do repertório subjetivo do receptor. Ou seja: uma página impressa significará apenas uma porção de manchas para um

macaco, uma dimensão linear de exploração para um revisor ou um bloco bidimensional para um tipógrafo.

De nossa parte, acreditamos que a informação responde por um atributo essencial da matéria: a de ser **organizada**, **determinada**. Poderia a matéria existir sem organização? Ou apenas nossa percepção dela é que não existiria? Acreditamos que, na verdade, a organização da matéria não é, de fato, um atributo meramente material, mas **expressão de relações** da matéria no domínio do pensamento.

Opinião semelhante é sustentada por ZEMAN (1970: p 156). Para ele, há no domínio da matéria o **organizado** (a matéria como resultado) e o **organizante** (a matéria como processo). Nessa perspectiva, informação é uma forma fundamental de existência da matéria, sua propriedade de organizar, conservar a organização e desenvolvê-la.

Para ZEMAN, "o mecanicismo que reduzisse a informação à sua matéria, sem ver sua particularidade, o idealismo subjetivo que considerasse a informação apenas enquanto simples forma ... e o idealismo objetivo que visse na informação um princípio particular independente da matéria representariam todos concepções unilaterais da questão" (1970: p. 158).

Zeman parece galvanizar, com isso, uma visão bastante ponderada. Mas são notáveis em sua argumentação por vezes certos escorregões no materialismo vulgar. Quando afirma, por exemplo, que a informação é como que uma "dimensão" da realidade, uma "substância" comum a todas as formas, identificando-a a conceitos como massa e energia, Zeman acaba atribuindo status puramente ontológico ao conceito de informação. Com isso, escorrega na "casca de banana" do realismo ingênuo: a velha noção de uma "substância material" à parte do pensamento.

Mas paremos por aqui, posto que a exposição acima já é suficiente para os objetivos propostos. Reservemos para adiante a intervenção da tradição filosófica a respeito do tema da objetividade.

3. Aspectos de Teoria da Informação Aplicados à Teoria do Conhecimento.

Os métodos e conceitos da Teoria da Informação podem ser **generalizados** para campos mais complexos do interesse humano, como a análise dos procedimentos do pensamento, do conhecimento e da Ciência. Vários conceitos da Teoria da Informação têm contrapartida na Epistemologia. Em princípio, esses conceitos podem introduzir, no mínimo, um novo método de expressão das idéias científicas e, até mesmo, novos pontos de vista e novas idéias epistemológicas.

Caso exemplar disso é o conceito de **capacidade do canal de informação**, que já foi generalizado por vários autores, ganhando com isso conotações epistemológicas.

Em resumo, pretendemos aqui expor alguns elementos que mostram ser possível construir uma visão da Teoria do Conhecimento a partir do instrumental da Teoria da Informação. Isso é o que fazem autores com J. Zeman.

ZEMAN (1975: P. 245) trabalha com a idéia de que a Teoria da Informação lega à Epistemologia o 'princípio informativo', espécie de condição de apreensibilidade diretamente ligada à noção de capacidade do canal. Para melhor entender a essência do 'princípio informativo' na cognição humana Zeman investiga a chamada 'situação epistemológica'. Para esse autor, uma análise dessa situação provê as condições básicas da cognição, que são, segundo ele, 'condições limitantes'. A tarefa da Filosofia da Ciência seria, assim, a de dar uma descrição geral da situação ou condição epistemológica, determinando seus parâmetros gerais e estabelecendo a limitação relativa da cognição – "para superá-la".

Para Zeman, a zona de acessibilidade epistemológica é estabelecida, por um lado, pelos atributos do mundo objetivo, e, por outro, pelas características subjetivas. Já a esfera da cognição é restrita às dimensões e atributos do ser humano.

ZEMAN trabalha com o conceito de "corrente de informação" (1970: p. 162-163), espécie de analogia com a corrente elétrica. Para ele,

transformação e conservação de informação são funções do tempo. Para que haja transporte, criação ou mudança da informação deve sempre existir uma diferença entre dois níveis (fonte e destinatário) a ser igualada. Ou seja: a corrente de informação (conceito semelhante ao de 'razão de transmissão') é determinada pela diferença entre dois pólos, bem como pela capacidade C do canal. Se há nivelamento fonte / destinatário, então nenhuma informação é transmitida.

No caso da relação sujeito / objeto, quando certas características do objeto são transpostas para o sujeito em uma corrente de informação, sua realidade interior é nivelada à exterior através de uma reorganização dos micro-processos da matéria cerebral. Assim, o campo da informação, composto de sujeito e objeto, conduz ao da percepção; este, por sua vez, ao da percepção consciente (o pensamento), que por fim prepara a ação. ZEMAN retira desse afunilamento, como corolário epistemológico, a conclusão de que o objeto do conhecimento é sempre mais rico que seu reflexo no pensamento. "O mundo como um todo é um sistema mais complexo e rico que sua imagem na cognição" (1975, p. 248).

Para ZEMAN (1975: p. 246), o conhecimento humano tem um caráter estatístico e macroscópico, pois procede dos atributos físicos e biológicos do Homem. A subjetividade humana é vinculada ao seu tamanho espacial – localizado entre o ultra-grande e o ultra-pequeno – e às suas dimensões temporais – caracterizadas da mesma forma. Com isso, o conhecimento humano possui certo grau de incerteza, de imprecisão, pois depende da capacidade do canal epistemológico humano. A tarefa da epistemologia seria a de examinar em detalhes essa capacidade.

Segundo ZEMAN (1975: p. 247), nenhum sistema de informação pode funcionar sem produzir entropia (física e informacional). A entropia informacional expressa a taxa de ignorância sobre um fenômeno, i.e., a taxa de limitação da informação. Por isso, a entropia do conhecimento nunca é zero. Isso caracteriza uma concepção essencialmente **falível** do conhecimento.

O processo de informação é um processo de trabalho, e a capacidade de trabalho de um sistema de informação (o cérebro por

exemplo) é sempre estabelecida pelo coeficiente de efetividade do sistema. Em relação a esse coeficiente, há sempre obstáculos na transmissão do objeto ao sujeito, os quais são chamados por Zeman de "**ruídos epistemológicos**".

De nossa parte, consideramos perigosas certas conclusões de Zeman. A história da filosofia demonstra, por exemplo, que noções como a de um 'objeto mais rico que seu reflexo no pensamento' ou a de uma 'condição epistemológica' como 'condição limitante' conduzem facilmente ao ceticismo e até mesmo ao completo agnosticismo, como veremos adiante ao examinar a tradição filosófica.

Além de Zeman, também S. GOLDMAN (1953) arrisca algumas generalizações de conceitos da Teoria da Informação à Epistemologia. Sua visão é um tanto mais otimista que a de Zeman, posto que, para ele, o conceito de capacidade do canal não traz conseqüências negativas e nem introduz no conhecimento 'condições limitantes'. Apesar disso, seu otimismo chega por vezes às raias da ingenuidade, tão ao modo do realismo clássico.

Segundo GOLDMAN, o ser humano recebe continuamente – através dos sentidos – mensagens do mundo exterior que o habilitam a construir uma idéia mais ou menos detalhada desse mundo. Evidentemente, a influência intersimbólica dessas mensagens é bastante grande, o que mostra "que tal influência pode ser mais facilmente compreendida e não envolverá contradições se as mensagens trazidas do mundo exterior forem interpretadas como advindas do próprio mundo exterior, o que não é logicamente necessário" (1953: p. 300). Por conseguinte, Goldman parece aqui colocar a opção pelo realismo, surpreendentemente, como uma mera questão de comodidade para o homem de Ciência.

Para o citado autor, o pensamento funciona como um sistema de comunicação e tem uma linguagem como alfabeto. No pensamento consciente de um indivíduo esse alfabeto contém um largo número de conceitos simples, os quais podem ser considerados como "unidades do pensamento". O conhecimento de um indivíduo consistiria, então, da

cognição dos constrangimentos intersimbólicos existentes entre esses conceitos.

Mas qual a base desses constrangimentos: real ou ideal? Como vimos anteriormente, para Goldman, que crê (quase cegamente, diríamos) na **objetividade** do conhecimento, os "constrangimentos" têm o mesmo sentido de "leis". Ambos possuem existência ontológica, como partes intrínsecas de qualquer sistema. Com isso, as leis da Ciência seriam expressão intelectual de constrangimentos existentes na realidade (GOLDMAN, 1953: p.s 306-307), constituindo o material através do qual a Ciência traça cenários futuros e fixa condições iniciais das quais podem ser derivados resultados preditíveis. Não estaríamos exagerando ao identificar aqui um empirismo excessivamente otimista, quase baconiano.

GOLDMAN (1953: p.s 300-301) interpreta o princípio da capacidade do canal não como um limite intransponível, mas como algo a ser suposto como ponto de partida pelo próprio pensamento. Exemplificando o problema da capacidade do canal, ele afirma que as mudanças no mundo parecem ocorrer lentamente, isto é, o mundo externo parece ter certa continuidade no tempo. Isso provém do fato de que a largura de banda das mensagens por nós recebidas é menor que a largura de banda (ou capacidade) de nossos mecanismos sensoriais. Isso faz parecer que o mundo preserva sua identidade no tempo, o que nos leva à conclusão de que estamos sempre diante do mesmo mundo real.

No entanto, o próprio pensamento faz saber que essa conclusão não é verdadeira, o que representa uma superação de nossa capacidade sensorial. Como muito corretamente assinala ENGELS:

As formigas possuem olhos diferentes dos nossos: podem ver os raios luminosos químicos ... mas, no que diz respeito ao conhecimento desses raios, invisíveis para nós, estamos muito mais adiantados que as formigas. Somente o fato de que possamos demonstrar que as formigas vêem coisas para nós invisíveis, e que essa demonstração repousa apenas em percepções obtidas através de nossos olhos, só isso basta para demonstrar que a constituição especial do olho humano não representa uma barreira absoluta ao conhecimento humano. (1979, p. 185)

É só substituirmos o termo 'constituição especial do olho humano' por 'capacidade do canal visual' e veremos que o conceito de capacidade não introduz no conhecimento uma condição limitante absoluta. No máximo, teríamos uma limitação relativa.

A argumentação de Engels nos conduz a um importante problema, cujo tratamento deve arrematar esta secção. Afirmamos no início pretender construir uma visão da Teoria do Conhecimento a partir do instrumental da Teoria da Informação. Até que ponto é lícito fazer isso, utilizando conceitos que foram criados para a análise de mecanismos técnicos, e não para a análise da cognição humana?

Já GOLDMAN (1953, p. 303) alerta sobre esse problema para o fato de que há diferenças abruptas de complexidade entre mecanismos de informação humanos e mecanismos construídos artificialmente. No caso do conhecimento humano, temos que:

- a) A superposição de sinal e ruído não é linear;
- b) Ocorre o uso de correlação de sinais já adquiridos para evitar ruído (o que se verifica apenas em alguns mecanismos artificiais, e ainda assim de forma bem menos complexa);
- c) O sistema é ativo, isto é, os constrangimentos podem ser trocados como conseqüência dos sinais adquiridos.

Com todas essas diferenças, poderíamos dizer que há similaridades suficientes que justifiquem uma Teoria do Conhecimento apoiada na Teoria da Informação?

De nossa parte acreditamos que sim, mas sempre dentro dos limites do bom senso. As noções da Teoria da Informação devem ser vistas apenas como pontos de apoio, não como conceitos que possam substituir a análise epistemológica. Vimos acima que mesmo a noção de capacidade do canal pode receber interpretações distintas, o que põe em relevo o fato de que o que importa não é a aplicação, à Epistemologia, de tal ou qual conceito oriundo de fora de seus limites. O que importa é a visão que se tem desse conceito.

Ao contrário do que parece pensar Zeman, por exemplo, o conceito de capacidade do canal não é 'neutro', não diz nada por si próprio quando

aplicado à Filosofia da Ciência. A visão desse conceito como uma 'condição limitante' não é algo de imanente à própria natureza do conceito, mas uma concepção filosófica nele embutida e através dele expressa.

Ademais, o conhecimento jamais poderá ser visto sob o aspecto exclusivo da aquisição de informação, pois o aspecto informacional está mais intimamente relacionado à dimensão sensorial do conhecimento. Apesar disso, esse é sem dúvida um importante aspecto da problemática epistemológica, que não deve de modo algum ser desprezado. Daí porque consideramos lícito – feitas as devidas ressalvas – a aplicação da Teoria da Informação à análise do conhecimento.

4. Algumas Implicações Epistemológicas do Conceito de Informação

O moderno conceito de informação traz importantes consequências para a Epistemologia, lançando luz sobre os conceitos de **conhecimento**, **objetividade**, **determinismo**, **causalidade**, **previsibilidade**, dentre outros.

A Teoria da Informação utiliza largamente, como pudemos atestar ao longo do capítulo 1, noções como causalidade, determinismo, previsibilidade e regularidade, conceitos que, de tão intimamente relacionados, sempre caminharam de mãos dadas na História da Ciência.

Mas, como a maioria das disciplinas científicas do século XX, a Teoria da Informação não adota as rígidas noções de determinismo e causalidade postuladas pela Ciência Moderna em seus primórdios. Ao contrário disso, trabalha com a noção de uma causalidade "fraca", probabilística, e com a idéia de determinação complexa dos fenômenos. O amálgama dessas concepções de determinismo e causalidade resulta em uma idéia flexível de objetividade como uma categoria essencialmente gnoseológica, isto é, sem qualquer existência para além das fronteiras do conhecimento e da relação sujeito / objeto, conforme detalharemos mais à frente.

O princípio de **causalidade** não é uma suposição recente, datada da Ciência Moderna. Remete mesmo à fase mítica, pré-racional, do pensamento humano.

Já Hesíodo (VIII a.c.) – maior nome do pensamento mitológico grego, ao lado de Homero – esboça em sua "Teogonia" uma genealogia sistemática e racional da divindade com base na idéia de causação. Colocada como precursora do pensamento racional, a obra de Hesíodo demonstra a íntima ligação existente entre pensamento racional e princípio de causalidade, bem como entre pensamento racional e previsibilidade. Como afirma J. WICKEN (1987: p.5), onde podemos identificar causas podemos fazer previsões.

Uma cadeia causal é uma relação (ou conjunto de relações) entre causa(s) e efeito(s), e pode ser vista como um processo de tradução, na qual uma causa (sinal de entrada) é traduzida em um efeito (sinal de saída). A Teoria da Informação manipula as noções de causa e efeito probabilisticamente, o que se verifica por exemplo através da variável Pi(j). Ela descreve causas perturbadoras que, atuando sobre uma mensagem i, produzem como efeito a transformação dessa mensagem em j.

A idéia de causalidade é o mais essencial fundamento do empirismo, mas também seu calcanhar-de-aquiles. A crítica de **D. Hume** ao empirismo clássico ataca precisamente essa noção. Seguindo a linha inaugurada pelos assim chamados "nominalistas" – que afirmavam a inexistência concreta dos universais – Hume coloca o princípio de causalidade como "ilusão subjetiva" ao afirmar que podemos até considerar reais as **coisas**, mas não as **causas** dessas coisas, as quais só existiriam no pensamento.

Também Hegel critica a noção de causalidade, mas a partir de uma perspectiva bem mais profunda e multilateral que a de Hume. Hegel não envereda pela subjetivação da causalidade; apenas chama atenção para seu caráter **fragmentário**, incapaz de expressar a Totalidade.

A noção de **substância** em Hegel é conceituada como aquilo que contém em si a **relação absoluta**. Ao conhecê-la, não restaria dúvida de que encontramos causas. Mas, para Hegel, a causalidade é apenas uma

pequena parte da conexão universal. A omnilateralidade da conexão é expressa pela causalidade apenas de modo unilateral e fragmentário.

A causalidade distingue-se da necessidade, em Hegel, por ser apenas sua superficie; aquela é unilateral, esta é total. Isso, porque a necessidade é a própria realidade no seu desenvolvimento, desenvolvimento do qual a causalidade não capta mais que aspectos isolados. O pensamento humano concebe primeiramente a **coexistência**; desta avança para a **causalidade**, chegando a partir daí a formas de **conexão** mais profundas.

O raciocínio de Hegel em relação à causalidade é um testemunho da profundidade de sua filosofia, a qual exporemos em pormenores no capítulo 4. Aqui basta-nos a compreensão de que a noção de causalidade é por demais útil à compreensão de objetos particulares (um sistema de comunicação, por exemplo). Contudo, do ponto de vista de uma compreensão mais abarcante e total, a causalidade torna-se inteiramente impotente como categoria filosófica.

A noção de **previsibilidade**, por sua vez, também comparece na Teoria da Informação em diversos momentos e sob diversas formas. Em particular, podemos anotar que a Teoria da Informação concentra muito de sua eficácia na possibilidade de previsão do comportamento futuro de sinais, para o que conceitos baseados na noção de média – como o próprio conceito de entropia – cumprem papel fundamental. Afinal, valores médios – captados através da observação de longas seqüências de eventos – costumam apontar formas regulares de comportamento.

Com efeito, podemos perceber que a pressuposição de previsibilidade costuma caminhar de mãos dadas com a noção de regularidade. Se a situação A introduz a situação B em muitas tentativas independentes (se não forem independentes a repetição da experiência não tem valor) o pensamento humano conclui que há regularidade nessa cadeia causal, isto é, que seus efeitos tendem a se repetir sempre, conclusão que é firmada como fundamento das previsões.

A noção de **periodicidade**, fundamento da possibilidade de quantificação de sinais contínuos, contém em si o suposto de que estes

sinais comportam-se de maneira relativamente regular e, portanto, previsível. "Um fenômeno é periódico quando se reproduz idêntico a si mesmo, no fim de um intervalo de tempo chamado período ... De fato, basta estudar o fenômeno no interior de seu período para prever seu comportamento indefinidamente" (MOLES, 1969: p. 102).

Devido à sua simplicidade, a idéia de regularidade dos fenômenos naturais foi adotada desde o início pelas Ciências da Natureza. Os componentes da decomposição em série de Fourier relacionam-se a intimamente a essa idéia.

Para MOLES, a periodicidade é um conceito quantitativo, não qualitativo, expressão da estruturação temporal de um fenômeno: "A 'quantidade de periodicidade' é então um grau de ordem na organização temporal ... que leva em conta o isocronismo e ... a semelhança quantitativa dos eventos sucessivos" (1969: p. 107).

A noção de periodicidade, porém, é bastante impregnada de uma visão mecânica da previsibilidade, pautada pela idéia de conhecimento total dos fenômenos, tão ao modo da ciência da ilustração. A própria experiência vem se encarregando de apontar insuficiências em concepções rígidas do princípio da periodicidade, próprio apenas para situações-limite, casos ideais.

A maioria das formas de periodicidade é do tipo "aleatório", isto é, sua constância não é uniforme, mas variável. O fato de que possamos formalizar também o conhecimento deste tipo de periodicidade indica que a questão não está em negar a noção de previsibilidade em si, mas apenas em superar antigas visões acerca dela, pondo-a desse modo em compasso com o estágio atual do conhecimento científico.

Outra noção por demais importante, e para cujo desenvolvimento também contribui a Teoria da Informação, é a de **determinação dos fenômenos**, intimamente relacionada aos conceitos de causalidade e de previsibilidade. De forma geral, o mais comum problema relacionado à determinação é o de saber se as coisas efetivas seriam de fato determinadas, ou se, ao contrário, seriam inteiramente livres e

indeterminadas, advindo a impressão de determinismo apenas de uma organização imposta sobre as coisas por nossas estruturas sensoriais.

De nossa parte, acreditamos que a determinação é uma categoria eminentemente gnoseológica, sem existência enquanto "substância". A determinação dos fenômenos tem seu fundamento, a nosso ver, não na realidade em si própria, como coisa estática, mas em relações reais de determinação na forma como estas aparecem apreendidas no domínio do pensamento.

A Lei dos Grandes Números de Bernoulli, enunciada no início deste trabalho, introduz importantes conseqüências para o problema da determinação dos fenômenos. Ela afirma, em essência, que quanto maior for o processo estocástico com o qual lidamos mais esse processo estará sujeito a efeitos completamente determinados. Isso, é evidente, se se tratar de um processo ergódico.

Da mesma forma, a Teoria da Informação (campo de validade da Lei dos Grandes Números) nos diz que, no mundo macroscópico, atuam mais determinações fixas que probabilísticas. O contrário ocorre no mundo microscópico, onde apenas constrangimentos probabilísticos atuam na conversão causal. A esse fato são geralmente atribuídas interpretações epistemológicas de caráter cético e/ou agnóstico. Uma dessas interpretações, de cunho declaradamente agnóstico, é desenvolvida por Solomon Marcus.

Para MARCUS (1995: p. 158), o processo informativo está na raiz do pensamento e revela **restrições genuínas e ocultas** – de natureza comunicacional – que regem a razão humana. O citado autor afirma que isso começou a ficar claro após o enunciado do **princípio de incerteza de Heisenberg** relacionado à complementaridade quântica, que introduziu dois obstáculos ao conhecimento: a linguagem e os instrumentos de medida – ambos pertencentes ao domínio do macroscópico e, portanto, inadequados à análise do mundo microscópico. No caso da linguagem, segundo Marcus haveria uma complicação a mais: sendo de natureza seqüencial, seria inapta para tratar de fenômenos de caráter não-seqüencial, sentimentos por exemplo.

Postas muitas vezes como novas "descobertas", tais idéias não são contudo novas na história da Ciência e da Filosofia. A abordagem que imputa ao conhecimento "restrições genuínas" remete pelo menos a Hume e Kant, este último o grande fundador do criticismo ou transcendentalismo, doutrina que, apesar de superada pela crítica de Hegel, continua muito em voga no debate sobre os fundamentos da Ciência. Como veremos pouco mais à frente.

Capítulo 3

IMPLICAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DO CONCEITO DE ENTROPIA

"O dia se renova todo dia, Eu envelheço cada dia e cada mês. O mundo passa por mim todos os dias Enquanto eu passo pelo mundo uma vez"

Alvaiade da Portela

O desenvolvimento do conceito de **entropia** tem revelado uma noção extremamente profunda, cuja capacidade explanatória estende-se para além dos limites de seu campo de origem, a Física, revelando nexos nunca dantes pensados entre áreas as mais longínquas. Em decorrência disso, a entropia é hoje uma das mais ricas e surpreendentes noções científicas, e talvez a que mais tem atraído a atenção de filósofos e historiadores da Ciência.

Este capítulo possui pretensões semelhantes às do anterior. Aqui, porém, trataremos não mais do conceito de informação em suas implicações epistemológicas, mas da noção de entropia. Buscaremos um melhor entendimento do **desenvolvimento histórico** desse conceito, ao mesmo tempo em que buscamos identificar os principais **problemas epistemológicos** a ele relacionados, evidenciados nos debates sobre a definição da natureza do fenômeno entrópico.

Com efeito, o conceito de entropia encontra-se intimamente enredado com diversos conceitos largamente utilizados pela Ciência e pela Filosofia, com destaque para as noções de **tempo e movimento**.

Analisaremos aqui os principais problemas filosóficos que se colocam em relação à entropia sem, no entanto, pretender apresentar sobre eles quaisquer soluções definitivas. A história da filosofia guarda razoável acúmulo sobre temas correlatos, motivo pelo qual não podemos deixar de ouvi-la antes de arriscar qualquer palpite.

1. História do Conceito de Entropia

As raízes do conceito de entropia estão na física de fenômenos térmicos macroscópicos. A natureza dos fenômenos térmicos, bem como dos elétricos, é o movimento molecular, o qual, ao contrário do movimento de grandes massas, dá lugar a uma variedade bem maior de formas de desenvolvimento.

A engenharia de máquinas a vapor nos séculos XVIII e XIX proveu o esforço inicial para fundar a Termodinâmica como Ciência. As primeiras formulações de leis da Termodinâmica surgiram de generalizações empíricas relacionadas às máquinas a vapor. O avanço da Ciência no estudo de fenômenos relacionados à energia foi bastante lento, o que se deve, na opinião de ENGELS (1979: p. 74), não à carência de material experimental, mas à adoção a priori de pressupostos filosóficos falsos, em particular o de que o movimento era uma propriedade externa aos corpos e, portanto, uma exceção, não exatamente uma regra. Tal pré-concepção vinculava-se intimamente à mentalidade mecanicista que grassava na época.

Por que o materialismo do século XVIII era mecânico? Dentre outras razões – inclusive de cunho sócio-econômico – porque muitos filósofos da época (bem como do século XIX) confundiam a doutrina filosófica materialista com a forma com que essa visão de mundo se expressava na Ciência Natural de seu tempo. Dentre as Ciências naturais, só a Mecânica havia chegado a um certo grau de desenvolvimento, com sua respectiva forma (pobre) de encarar a matéria e o movimento. A Química, a Biologia e outras áreas da Física – como a Termodinâmica – encontravam-se ainda em estágio insipiente, e eram dominadas pela visão de mundo subjacente aos conceitos inferiores da Mecânica.

A transformação de movimento mecânico em calor através da obtenção do fogo por fricção, é, segundo ressalta ENGELS (1979: p.72), a primeira grande conquista do Homem sobre a natureza.

Mede-se em milênios o tempo transcorrido desde que foi descoberto o fogo por fricção até que Heron de Alexandria (por volta do ano 120 a.c.) inventou uma máquina que era posta em movimento giratório por meio do vapor de água emitido por ela. E transcorreram novamente quase dois mil anos até que fosse construída a primeira máquina a vapor, o primeiro dispositivo capaz de transformar o calor em movimento mecânico realmente utilizável. (1979: p. 73)

Com isso, a prática social solucionava, ao seu modo e antes da teoria, o problema da relação entre calor e movimento mecânico.

No que diz respeito ao desenvolvimento da teoria tivemos – após a invenção da máquina a vapor por **James Watt**, em 1765 – o estabelecimento, em 1798 por **Benjamin Thompson**, do sentido geral de equivalência entre energia mecânica expendida e energia térmica desenvolvida. Em 1840 **James P. Joule** mensurava o equivalente mecânico do calor, estabelecendo com isso a relação quantitativa entre energia mecânica e térmica. Esse foi o marco que tornou o calor reconhecido como forma de energia.

Um pouco mais tarde, em 1842, **Robert Julius Mayer** formulava pela primeira vez aquela que ficaria conhecida como a 1ª Lei da Termodinâmica. A formulação dessa lei causou grande impacto na mentalidade científico-filosófica do século passado, na medida em que postulava de modo científico e rigoroso o princípio da conservação, ao qual já a Filosofia havia antes chegado através das geniais intuições de Descartes.

O significado da **1ª Lei** é de grande importância filosófica, na medida em que contribuiu para a dissolução da Mecânica como paradigma epistemológico, desenvolvendo com isso na Ciência a forma dialética do pensar. A respeito disso ENGELS afirma que

A determinação do equivalente mecânico do calor ... demonstrou ... o fato de que todas as chamadas forças físicas podem transformar-se umas nas outras, sob determinadas condições: a energia mecânica, o calor, a luz, a

eletricidade, o magnetismo e até mesmo a denominada força química. Essa transformação é produzida sem perda alguma de energia. Dessa maneira e por intermédio da Física, Grove demonstrou o princípio de Descartes segundo o qual a quantidade de movimento existente no mundo é invariável ... Era assim eliminada da Ciência a casualidade da existência de determinado número de forças físicas, ao demonstrar-se suas correlações e formas de transformação. A Física chegava, pois, como havia chegado já a Astronomia, ao resultado que aponta inevitavelmente, como princípio último, a eterna circulação da matéria em movimento. (1979: p. 21)

Já em 1824 a Ciência assistia à primeira formulação da **2ª Lei da Termodinâmica** com **Carnot**. A 2ª Lei veio a ser o veículo para a introdução na Física do conceito de entropia.

Mais tarde, em 1850, **Rudolf Clausius** desenvolvia uma formulação alternativa da 2ª Lei, a qual afirmava em síntese que o calor não pode, por si só, passar de um corpo frio para um quente sem causar outras mudanças. Um ano depois, em 1851, **Lord Kelvin** enunciava uma outra versão da 2ª Lei: um processo cujo único efeito é a completa conversão de calor em trabalho não pode jamais ocorrer.

Em 1865, após diversas formulações alternativas que captavam mais aspectos isolados da 2^a Lei que sua essência, Clausius define a troca de entropia Δ S ocasionada em um sistema pela transferência para ele de uma quantidade de calor ΔQ como dada pela expressão

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

onde T é a temperatura absoluta do sistema quando ΔQ é absorvido. Clausius chegava com isso à mais abstrata e abarcante formulação da 2ª Lei: durante processos reais, a entropia S de um sistema isolado sempre aumenta, atingindo valor máximo em uma situação de equilíbrio.

Até Clausius temos a **Termodinâmica Clássica**, essencialmente macroscópica e que em nenhum momento se refere à estrutura microscópica de fenômenos materiais. Na Termodinâmica Clássica as diferentes grandezas são encaradas como quantidades fenomenológicas; todas as conclusões daí inferidas são então consideradas como

proposições fenomenológicas matematicamente deduzíveis dos postulados básicos (1. e 2ª Leis).

Em 1909 a Termodinâmica Clássica recebe sua representação melhor estruturada formalmente na abordagem axiomática de **Constantine Carathéodory**. Sua exposição soma completude filosófica e largura de entendimento. Discerne mais claramente quais são os elementos básicos da teoria, e qual é o componente puramente lógico que encobre aqueles fatos experimentais.

Data do final do século passado a fundação da **Termodinâmica microscópica e estatística**. Como nos ensina HARRISON (1975, p.s 45-47), a teoria cinética dos gases construída no século passado havia imaginado uma coleção de partículas elementares impenetráveis que têm massas específicas e movem-se de acordo com as leis clássicas do movimento sob forças mutuamente interagentes. Já a moderna descrição do modelo cinético envolve a atribuição de ambas a estrutura mecânica quântica para átomos e moléculas ponderáveis e o movimento de acordo com as leis da mecânica clássica. O conceito de entropia recebeu uma descrição microscópica na física pré-quântica a qual compartilha muitas características em comum com a versão microscópica moderna.

A hipótese básica da Termodinâmica Estatística é a de que um sistema químico, em qualquer 'fatia de tempo', pode ser representado por um conjunto de micro-estados – arranjo preciso de matéria e alocação precisa de energia entre estados quânticos. Essas são abstrações baseadas na suposição ergódica de que um sistema movendo-se através de micro-estados pode ser representado por membros de um conjunto cujas probabilidades estatísticas correlacionam-se com a probabilidade do sistema real expressando um certo micro-estado em um certo tempo. A probabilidade de um micro-estado, portanto, depende de sua energia.

Foi **Ludwig Boltzmann** o primeiro cientista a chegar a uma definição microscópica de entropia. Sua definição era baseada na mecânica estatística de um gás de moléculas.

Em 1872 Boltzmann enunciava seu célebre teorema H para um gás de moléculas descrito por uma função de distribuição de velocidade f(v):

$$H = \iiint f(v) \text{ Log } f(v).dv, \text{ onde}$$

f(v).d(v) é o número de moléculas no intervalo de espaço de velocidade d(v).

Em 1877 Boltzmann identificou a quantidade H à entropia S, dentro de uma constante negativa de proporcionalidade

$$-KH = S$$

Com isso ele obteve uma expressão microscópica explícita para a entropia com a propriedade de nunca descrescer:

$$S=-K\iiint f(v) \ Log \ f(v).d(v).$$

Essa definição leva a

$$\Delta S = \Delta Q / T$$

Logo após Boltzmann generalizou a definição cinética dos gases de S e chegou a uma mais geral definição mecânica estatística de S:

$$S = -K \iint dp.dq f(q,p) Log f(q,p)$$

Conforme afirma HARRISON (1975: p. 46) Essa generalização conceitual permitiu a Boltzmann libertar a mecânica estatística de sua conexão inicial com a teoria cinética dos gases, construindo pela primeira vez uma teoria microscópica dos fenômenos termodinâmicos, firmemente baseada na Teoria de Probabilidades conjugada com as leis da Mecânica Clássica – ou seja, firmemente baseada na Mecânica Estatística.

A pesquisa de Boltzmann foi mais tarde desenvolvida por **Planck**, que sumarizou S em uma relação estatística equivalente:

W o número de estados microscópicos fisicamente distintos de um sistema que correspondem igualmente bem a um dado estado macroscópico. A grande realização dessa fórmula está em definir S em termos absolutos, já que na Termodinâmica Clássica são definidas apenas diferenças entrópicas entre estados de equilíbrio distintos.

Seguindo o desenvolvimento da Termodinâmica Estatística, em 1902 **Gibbs** introduz o uso de conjuntos gerais para representar sistemas de interesse real. Na Mecânica Clássica um micro-estado de um sistema com N graus de liberdade correspondendo a N coordenadas de configuração é especificado por um ponto no espaço de fase dimensional 2N. Nessa formulação o espaço de fase apropriado ao sistema de interesse real foi considerado como povoado por pontos de fase móveis representando os diversos micro-estados. Com isso, os pontos de fase são distribuídos no espaço de fase de acordo com certas probabilidades a priori consistentes com o conhecimento parcial do sistema. Sendo a distribuição dos pontos de fase introduzida no espaço de fase, a entropia pode ser definida como função da distribuição dos pontos de fase – ou seja, como propriedade de conjuntos.

Na medida em que dado conjunto era escolhido para refletir qualquer informação e conhecimento do sistema de interesse real, ficava evidente que a entropia definida como propriedade de conjuntos provia um elo de ligação entre **informação e entropia** na Termodinâmica. De fato, há na Termodinâmica Estatística uma relação sistemática entre a entropia de objetos macroscópicos e sua medida de informação microscópica.

A variável 'W' tende a crescer no tempo, enquanto o conjunto representativo evolui em paralelo com quaisquer processos naturais ocorrendo no macrossistema de interesse real. S = - K.log W representa muito satisfatoriamente a entropia de conjuntos estatísticos em equilíbrio, isto é, conjuntos com propriedades independentes do tempo. Uma das maiores contribuições de Gibbs foi mostrar que é possível definir alternativamente S para um conjunto estatístico em equilíbrio arbitrário. Dessa definição há como extrair uma outra ainda mais geral de S, útil para casos de dependência temporal (desequilíbrio termodinâmico).

Mais tarde, a introdução de princípios quânticos desencadeou a transição da Mecânica Estatística Clássica para a **Mecânica Estatística Quântica**, processo que tornou o conceito microscópico de entropia altamente preciso e livre dos elementos arbitrários oriundos de considerações fenomenológicas.

Na Mecânica Quântica o estado microscópico de um sistema é determinado por uma **função de onda**, e não mais por um conjunto de impulsos de coordenadas. Na perspectiva de **Schröedinger** da Quântica a passagem do tempo é marcada pela dependência temporal de uma função de onda.

A Mecânica Estatística Quântica também emprega a noção de conjuntos, mas definida em outros termos. Como na Mecânica Estatística Quântica a condição de equilíbrio termodinâmico Clássica, na macroscópico requer o uso de um conjunto em equilíbrio para representar o sistema. Em ambas as Mecânicas Estatísticas o estado de equilíbrio é definido por um postulado que o identifica com a distribuição teórica do conjunto tendo máxima probabilidade consistente com а constrangimentos providos por informações parciais periódicas. Assim, por definição o estado de equilíbrio é a condição de maior probabilidade, dados quaisquer constrangimentos presentes. informação termodinâmica é, portanto, diretamente proporcional à distância do equilíbrio. É interessante notar que na Teoria da Informação ocorre o contrário, pois a informação é inversamente proporcional ao equilíbrio estatístico.

O conceito de entropia na Mecânica Estatística Quântica é introduzido por analogia com as formulações de Boltzmann e Gibbs. Ele é descrito matematicamente da seguinte forma:

 $S=-K\sum P1 Log P1$

No equilíbrio, temos que

$$S = K \log W$$

Essas equações fornecem fundamento conceitual para uma completa derivação mecânica estatística das leis da Termodinâmica Clássica, e levam portanto a um entendimento estatístico e microscópico de todos os fenômenos térmicos observados ao nível da física macroscópica.

A relação conceitual entre entropia e probabilidade provê uma interpretação probabilística da 2ª Lei na forma descrita por Clausius. Se S(tot) denota a entropia total de um grande sistema isolado (o Universo por exemplo) e esse sistema consiste de duas partes, uma menor de entropia S e outra maior de entropia Se (a maior parte sendo uma espécie de meio ambiente da menor), então

$$S(tot) = S + Se$$

A proposição de Clausius da 2ª Lei diz que

$$S(tot) \ge 0$$

em qualquer processo, com o sinal de igualdade valendo apenas para casos reversíveis.

A interpretação probabilística da 2ª Lei surge do vínculo da equação para a entropia estatística S = K log W com S(tot) ≥ 0, que estabelece que a entropia total de um sistema isolado aumenta ou permanece a mesma. Desde que a primeira das duas equações baseia o valor da entropia no valor do peso Termodinâmico W em uma relação monotônica crescente, alta entropia corresponde a coordenadas de estados termodinâmicos que especificam grandes valores de W. Mas, como W é o número de distintos estados microscópicos consistentes com o conhecimento disponível sobre o estado termodinâmico macroscópico, então ele é proporcional à probabilidade de encontrar o sistema em um dado estado macroscópico, desde que qualquer tal estado que possa ser

percebido em um grande número de sentidos microscópicos é mais provável que um que só pode ser percebido em poucos arranjos microscópicos.

O conceito de entropia, portanto, é consistente com a noção de que todos os sistemas tendem a evoluir para estados de mais alta probabilidade, que designam situações mais favoráveis. Por conseguinte, o mais provável advém sempre do menos provável. Estados de alta entropia tendem a se desenvolver dos de baixa entropia, o que ocorre **na média**. Logo, o aumento da entropia pode ser interpretado como uma tendência probabilística.

É evidente que há como eventualmente ocorrer uma diminuição espontânea da entropia, a qual corresponderia a alguma flutuação. Tais flutuações correspondem a divergências dos valores médios. Saídas temporárias do equilíbrio, na forma de flutuações, representam condições de menos probabilidade que a de equilíbrio, assim como a diminuição entrópica de um sistema isolado representa uma improvável saída da entropia de seu máximo valor de equilíbrio.

Em suma, o mais provável comportamento do sistema representa seu comportamento médio. Para grandes sistemas com muitos graus de liberdade os mais prováveis valores de suas quantidades físicas coincidem com seus valores médios (o que é postulado pelo Lei dos Grandes Números). A lei do aumento da entropia em um sistema isolado pode, portanto, ser melhor entendida como uma proposição sobre o comportamento médio temporal do mais provável estado de um sistema com muitos graus de liberdade.

Assim, a fórmula de S fica

$$S= -K \sum P1(t) Log P1(t)$$
, onde

P1(t) são as probabilidades de ocupação dependentes do tempo.

Há ainda um importante aspecto do conceito de entropia na Mecânica Quântica que não é encontrado na Mecânica Estatística Clássica, concernente ao valor limite da entropia à medida que nos aproximamos do zero absoluto da temperatura. Só através da Quântica é

possível obter esse resultado, conhecido em geral como **3ª Lei da Termodinâmica**, a qual pode ser assim formulada: a entropia por unidade de massa de qualquer substância vai a zero à medida que a temperatura vai ao absoluto zero, que é o estado-solo termodinâmico, não-degenerado. Ou seja:

$$\lim_{T\to 0} S(T) = 0$$

Hoje, embora bem estabelecida por observações empíricas, a interpretação probabilística da 2ª Lei ainda carece de um melhor entendimento de sua base estatística. Profundos exames revelam sérias lacunas em nosso entendimento, como a dificuldade relacionada à aplicação da 2ª Lei ao Universo como um todo.

Sabemos que o Universo não está em equilíbrio termodinâmico. Como um sistema fechado, seria de se esperar que já tivesse alcançado o equilíbrio há muito tempo. Poderíamos considerar a parte observável do Universo como uma grande flutuação em um sistema em equilíbrio como um todo, mas essa hipótese tentadora é desmentida pela percepção de que condições comparáveis de não-equilíbrio suportando o desenvolvimento biológico podem ocorrer em uma escala astronômica menor com até mesmo maior probabilidade. Por outro lado, há alta probabilidade para uma flutuação satisfatória na estrutura do sistema solar desde que ele contém menos graus de liberdade (ou seja, é um sistema menor) que a galáxia onde se situa. A julgar por essas evidências contraditórias, esse problema está de fato longe de ser resolvido.

Alguns trabalhos contemporâneos têm buscado generalizar os conceitos e princípios do equilíbrio clássico termodinâmico de forma que a teoria resultante representa uma Termodinâmica irreversível de estados estáveis. O principal nome dessa tendência é **L. Onsager**. O conceito de entropia de sua teoria é estendido para além da noção de equilíbrio para incluir as idéias de produção de entropia no tempo, densidade de entropia e fluxo entrópico direcionado. Na teoria dos processos irreversíveis a entropia é então considerada algo com uma substância, que pode ser criada, destruída, distribuída, etc.

Onsanger é o criador da equação de balanço entrópico, que utiliza um conjunto de coeficientes de transporte Lij. Ele estabeleceu uma notável relação entre os coeficientes de transporte, mostrando que quando não há qualquer campo magnético os coeficientes obedecem Lij=Lji, relação conhecida como "teorema da reciprocidade" de Onsager, e por ele provada com base no princípio da reversibilidade microscópica. De fato, a reciprocidade de Onsager é algo como uma expressão matemática da citada reversibilidade.

Outras discussões contemporâneas sobre o conceito de entropia são feitas por **Prigogine** – que estende a teoria microscópica do não-equilíbrio para englobar processos

de mudança biológica – e por **Gal-Or** – que questiona se a origem da irreversibilidade na natureza é local ou cosmológica, problema diretamente relacionado ao da possibilidade de localização da origem da 2ª Lei Termodinâmica na dinâmica de expansão e resfriamento do Universo.

2. Relação entre os Conceitos Termodinâmico e Informacional de Entropia

Conforme assinala EDWARDS (1971: p. 12), podemos identificar na natureza basicamente dois tipos de sistemas: os de **energia** e os de **controle**. Chama atenção o fato de que ambos os sistemas parecem em certa medida ser norteados pelas mesmas leis, já que a entropia age em ambos.

Nos sistemas de energia a entropia mede o grau de homogeneidade estatística no sentido da desordem relativa à agitação molecular.

Já nos sistemas de informação, como vimos anteriormente, o princípio entrópico mede o grau de homogeneidade estatística no sentido da quantidade de escolha (ou de incerteza) relativa ao sistema.

Para J. WICKEN (1987: p.18), com notáveis exceções (como Brillouin), têm sido pouco produtivas as tentativas de fazer interagir a Termodinâmica – ciência do processo espontâneo e da estabilidade – e a Teoria da Informação – ciência da estrutura e da complexidade. Para Wicken, essa pouca atividade interdisciplinar em muito se deve à ambigüidade semântica de conceitos-chave dessas disciplinas, como o de entropia.

A fim de obter uma maior clareza acerca do conceito de entropia, pretendemos nesta secção averiguar a origem da similaridade morfológica das equações de Boltzmann e de Shannon, apontando algumas semelhanças e diferenças em seus respectivos conteúdos semânticos.

Para ZEMAN (1975: p. 247), "de um ponto de vista filosófico, é legítimo identificar certa similaridade entre a entropia física e a informacional".

Solomon Marcus radicaliza essa perspectiva. Para ele, a entropia é na verdade uma 'metáfora' científica adotada pela Teoria da Informação a

partir de uma 'transferência metafórica' do conceito termodinâmico de entropia. Para MARCUS (1995: p. 156), "A idéia científica de informação nasceu dentro da estrutura conceptual da Termodinâmica", ganhando status autônomo através da metamorfose do conceito de entropia e de uma metamorfose similar, a do conceito de energia.

Tal visão nos parece sinceramente um tanto forçada e imprecisa, pois, além de ofuscar diferenças essenciais entre ambos os conceitos, omite o fato de que Shannon chegou à fórmula da entropia informacional de forma independente.

Já autores como EDWARDS (1971: p. 48) preferem adotar postura mais cautelosa. Ele considera que, na construção do conceito informacional de entropia, a analogia de Shannon com os resultados da Termodinâmica Estatística é interessante e até sugestiva filosoficamente, mas pode também causar certa confusão.

WICKEN (1987: p. 26) segue com a mesma visão. Para ele, se por um lado não podemos cair no mito da independência completa dos dois conceitos, por outro também não podemos eclipsar suas diferenças. Já que a Termodinâmica Estatística e a Teoria da Informação ambas tratam com 'incertezas', e já que ambas trabalham com equações simbolicamente isomórficas, é natural que muitos teóricos da informação considerem a equação de Shannon como uma generalização do conceito de entropia, deixando-o livre da fenomenologia termodinâmica para a aplicação a distribuições genéricas de probabilidade.

O próprio Wicken considera que essa interpretação gera confusões. Para ele, há duas questões relevantes no exame desse problema:

- a) Ambos os conceitos de entropia comportam-se no mesmo sentido?
- b) São ambos baseados no mesmo tipo de hipótese probabilística?

Na visão de Wicken, a idéia de que a entropia de Shannon generaliza a da Termodinâmica seria automaticamente verdadeira se conceitos fossem redutíveis a equações, o que não é o caso.

No que diz respeito à primeira questão, as incertezas envolvidas na Termodinâmica Estatística e na Teoria da Informação são de diferentes naturezas. Naquela, a incerteza é fundamental: não podemos conhecer o estado de um sistema químico porque ele não reside em qualquer microestado específico, mas flutua estocasticamente entre um conjunto de alternativas. Já na Teoria da Informação a incerteza é a algo como a 'variedade-anterior-ao-fato'.

Outra diferença está na distinção macroestado / microestado, na qual se baseia a equação de Boltzmann e Gibbs. Para Wicken ela não se aplicaria à entropia de Shannon. E, desde que a explicação do aumento da entropia em sistemas irreversíveis se baseia nessa distinção, não parece existir irreversibilidade na Teoria da Informação.

De fato, a entropia é propriedade do macroestado, do conjunto de probabilidades, não de qualquer microestado específico. Daí o raciocínio de Wicken, para quem, sem relação entre macro e microestado, a entropia não deveria ser postulada. A respeito disso o citado autor reforça: "Shannon sugere inicialmente que a informação é 'esculpida' no espaço de fase entrópico. Mas logo após desliza para fixar a entropia de símbolos e mensagens eles próprios" (WICKEN, 1987: p. 21). Isso não é de todo correto. De fato, Shannon fixa entropias de mensagens (que são conjuntos), mas não de símbolos (que são elementos). Para esses últimos são fixados apenas valores relativos à informação, mas não à entropia, que é **informação média**.

Não concordamos também com a afirmação, feita acima, de que na Teoria da Informação não há qualquer relação entre micro e macroestado, não podendo por esse motivo a irreversibilidade da 2ª Lei ser generalizada à análise da informação.

Se abastecermos uma mensagem continuamente com uma fonte estocástica, tal que seus elementos se rearranjem sempre, essa mensagem pode configurar um macroestado a partir de microestados. Exemplo disso é um sistema onde dois dados sejam lançados, constituindo um espaço probabilístico. Teríamos na soma (macroestado) dos resultados sucessivos dos dois dados (microestados) um exemplo não-termodinâmico de relação entre micro e macroestado. Provido que haja uma fonte estocástica contínua de movimento, o macroestado 7 é mais provável que o

macroestado 2, pois tem mais possibilidades microscópicas de configuração (1+6, 2+5, 3+4, etc, enquanto que o 2 só pode ser configurado por 1+1). Nesse sentido, podemos dizer que **há** relação entre micro e macroestado também na Teoria da Informação – ainda que apenas em sentido heurístico. Logo, é possível adotar, também para ela, como veremos à frente, o postulado da irreversibilidade.

Uma outra diferença entre ambas as entropias, também citada por WICKEN (1987: p. 22), reside no fato de que na Termodinâmica Estatística há duas fontes de entropia: uma térmica e uma configuracional. Na Teoria da Informação só a segunda existe.

No que respeita à segunda questão posta acima, na Termodinâmica não podemos falar em incerteza como categoria subjetiva. Já na Teoria da Informação a entropia é uma abstração heurística. Da mesma forma, na teoria de Shannon 'estado' é a medida de constrangimento imposto sobre a possibilidade subseqüente. Tal significado de estado não suporta relação direta com a Termodinâmica. O mesmo ocorre com a noção correlata de transição entre estados. Esta última envolve, na Termodinâmica, novas distribuições de matéria e energia entre estados quânticos disponíveis, enquanto que em comunicação envolve escolhas. A diferença é entre o movimento de um sistema de elementos no espaço de fase e a geração de uma seqüência abstrata de opções estatísticas.

Ademais, como assinala UYEMOV (1975: p. 97), a fórmula de Shannon pode ser concebida como "uma suficientemente precisa medida de parâmetros sistêmicos". Nesse sentido, a entropia de Shannon não seria necessariamente sinônimo de grau de desordem, mas de **homogeneidade estatística** do substrato do sistema.

Portanto, há diversas diferenças entre entropia termodinâmica e entropia informacional, ainda que algumas delas possam ser identificáveis formalmente, isto é, no âmbito de um mesmo modelo abstrato. Isso coloca um problema fundamental para o entendimento da relação entre os dois tipos de entropia: com tantas diferenças, de onde provém a **identidade formal** das equações de Shannon e Boltzmann?

Acreditamos que ela provém de demandas para a formalização matemática das propriedades estatísticas de um estado. Porém, enquanto a entropia de Boltzmann é baseada na **variedade** real de microestados alternativos entre os quais o sistema se move, a entropia de Shannon é baseada em estados como eventos derivando de **escolhas**. Desde que um conjunto de símbolos expressa alternativas, torna-se de fato tentador falar em entropia.

Autores como Wicken acreditam que, em função das diferenças supra-citadas e apesar das semelhanças, a fixação de entropia para seqüências simbólicas mais distorce que generaliza o conceito termodinâmico de entropia. Ele supõe que há um paradoxo relacionado ao ruído o qual é atribuído ao mal uso do conceito de entropia. O paradoxo consistiria na classificação do ruído também como informação (sendo ele na verdade anti-informação) – o que faz com que se identifique no canal ruidoso mais, e não menos informação, o que seria um absurdo lógico. A nosso ver tal paradoxo em verdade não existe, pois o ruído é informação apenas morfologicamente, e não funcionalmente, e é nesse último aspecto que nos interessamos ao lidar com uma **forma organizada** – precisamente o que é uma mensagem.

J. WICKEN (1987: p. 24) pensa que seria melhor, ao invés do termo entropia, usar na Teoria da Informação o termo 'complexidade'. Para ele, assim como a entropia é a medida do que **não** podemos saber sobre um sistema termodinâmico, complexidade é a medida da informação requerida para especificar singularmente as relações de sistemas estruturados.

Além disso, "o ideal seria tratar o H = - ∑ Pi Log Pi como uma expressão algébrica padrão, cujo H seria definido conforme a área de aplicação ... Ainda assim, o termo 'entropia' continuaria a passar algo do sentimento de W.Weaver, de que estamos diante de um 'princípio universal' que fornece profundas leis de mudança unidirecional" (WICKEN, 1987, p. 25).

De fato, por certo que a similaridade de ambas as expressões matemáticas da entropia não advém do fato de estarmos diante de alguma

misteriosa força da natureza, como queria WEAVER (1975), mas apenas do fato de que ambas as expressões lidam com distribuições de probabilidade, procedimento do pensamento mais adequado ao tratamento de ambos os objetos de estudo da Termodinâmica e da Teoria da Informação, ou seja, sistemas de energia e de controle.

3. Neguentropia

Muitos autores trabalham com a idéia de que informação e entropia seriam identificáveis não diretamente, mas em razão inversa. Nesse sentido, a informação seria algo como uma 'entropia negativa' – ou, simplesmente, **neguentropia**.

Norbert Wiener, por exemplo, chama a medida da incerteza média de "entropia negativa", pois, "assim como a quantidade de informação de um sistema é a medida de seu grau de organização, a entropia de um sistema é a medida de seu grau de desorganização – uma é tão somente o reverso da outra" (APUD EDWARDS, 1971: p. 48).

ZEMAN (1970: p. 161) raciocina mais ou menos no mesmo sentido. Para ele, a neguentropia diminui com a degradação e se conserva ou cresce com a evolução.

No universo há processos oriundos da dispersão ... Contra esses processos de degradação, desorganização há, contudo, processos de condensação, de concentração; há o crescimento da organização ou informação na forma da vida e do aprendizado ... Vida, aprendizado e conhecimento existem sobre a base do fluxo cósmico e estão subordinados ao princípio de entropia. Eles estão, contudo, vinculados também ao fluxo oposto – processos de aumento da entropia negativa (informação).

Os processos entrópicos ou neguentrópicos são portanto, nessa visão, concebidos como processos opostos, aqueles de sucessiva diluição, estes de sucessiva condensação.

O primeiro autor a cunhar o termo 'neguentropia' foi Brillouin. Ele também o identificou à informação, no sentido de que a informação não seria igual à entropia, mas ao seu contrário. Nessa perspectiva, aumento da entropia significa perda de neguentropia. "Signos emitidos pelo

transmissor criam uma muito instável e improvável distribuição de correntes no cabo (canal). Isso representa uma situação física de baixa probabilidade, por isso de alta neguentropia. Quando esses sinais são absorvidos no receptor, essa neguentropia desaparece e informação (absoluta) é obtida" (BRILLOUIN, p. 594).

É evidente que tais suposições não podem ser encontradas na abordagem de Shannon. Em seu já clássico "A Teoria Matemática da Comunicação", Shannon identifica a informação à entropia. A única diferença é que a primeira pode ser calculada para elementos, enquanto que a segunda é uma propriedade média.

Para J. WICKEN (1987: p. 36), a não ser como 'entropia com sinal negativo', a neguentropia é um conceito matematicamente indefinível, posto que não há entropia com valor menor que 0. Ele próprio assinala, porém, que isso não diminui a utilidade explanatória do conceito, o qual, uma vez criado, deve ser aproveitado da melhor forma possível.

Wicken utiliza a idéia de 'neguentropia' no sentido de '**compressão probabilística'**, isto é, de distância do equilíbrio. Um sistema orgânico, por exemplo, pode ser conceituado como aquele reduz (comprime) o número de suas probabilidades internas a fim de manter-se distante do equilíbrio termodinâmico. Nesse sentido, embora organismos e cristais sejam ambos sistemas de baixa entropia, só os primeiros são neguentrópicos – pois a baixa entropia dos cristais não é obtida em oposição ao equilíbrio, mas constitui-se na própria condição de equilíbrio.

A explicação de Wicken é já bastante esclarecedora. Mas é Denbigh sem dúvida o autor que melhor elucida o problema das relações entre informação, entropia, ordem, organização e complexidade. Sem a delimitação precisa e rigorosa do significado dessas categorias não podemos entender plenamente o problema da neguentropia, cuja essência reside na relação entre esses conceitos e, em particular, na distinção entre entropia termodinâmica e seu equivalente informacional.

Na tentativa de formular uma função não-conservada para sistemas organizados, Denbigh depara-se com a necessidade de apresentar definições pertinentes de **organização e ordenamento**, termos sobre os

quais há muita confusão semântica. "Geralmente é suposto que, como ordenamento e entropia estão relacionados (inversa e logaritmicamente), qualquer aumento no grau de organização de um sistema corresponde a um decréscimo da entropia. Isso é errado" (DENBIGH, 1975: P. 83).

WICKEN (1987: p. 6) reforça essa opinião: "A 2ª Lei recebeu uma má impressão por todo o século depois de sua formulação por Clausius ... (Perguntava-se) como pode a evolução, um processo criativo ... ser causalmente conectada com um princípio essencialmente dissipativo". Para Wickens, isso caracteriza em certa medida uma 'mentalidade antientrópica', que se nutre da suposta evidência de que os organismos – que se mantém distantes do equilíbrio através da exportação de entropia para seus arredores – seriam prova das limitações intrínsecas do 2º princípio termodinâmico.

"Muitos evolucionistas acreditam que a lei da evolução é um tipo de conversão da 2ª Lei da Termodinâmica, igualmente irreversível mas contrária em tendência" (WICKEN, 1987: p. 36). Para J. Wicken, porém, não há qualquer contradição entre evolução e 2ª Lei, pois os organismos podem obedecer à 2ª Lei exibindo, contudo, uma tendência temporal independente.

WICKEN (1987: p. 69) reforça a argumentação acima demonstrando que **há relação** entre dissipação entrópica e estruturação e complexificação da matéria. Para ele a entropia é em última instância a força dirigente da agregação e da estruturação de matéria. Ele próprio ressalta que o termo 'força dirigente' pode ser pouco adequado, na medida em que sugere algum tipo de **propulsão externa**, enquanto estaríamos diante, na verdade, de uma '**propulsão interna**'.

Segundo Wicken, a estruturação da matéria em formas progressivamente superiores hierarquicamente se dá através da combinação das diretivas casualizantes da 2ª Lei com constrangimentos mecânicos providos pelas forças da natureza. Para muitos isso soa paradoxal, pois a estruturação é uma tendência **integrativa**, e o aumento da entropia (pelo menos no sentido termodinâmico) é uma tendência **dispersiva**. Mas, como mostra o citado autor, essa contradição só se torna

antinômica para aqueles cujo raciocínio está impregnado pelo princípio de identidade.

Wicken esclarece que juntar entidades pequenas em grandes gera entropia através da conversão de energia potencial em calor. A dissipação entrópica surge, com isso, como a força dirigente da tendência associativa do Universo. Ela comanda o processo de estruturação evolucionária, que é a própria tendência para o crescimento da complexidade organizacional, ou da informação presente no Universo.

Logo, ambas as tendências (associativas e dissociativas) formam um par: estruturação e complexificação provêem meios para a dissipação entrópica, enquanto que a dissipação de entropia fornece o sentido fundamental de todo processo integrativo. De fato, enquanto o Universo está constantemente 'descendo a ladeira' no sentido de esgotar potencial termodinâmico, está também 'subindo a ladeira' no sentido de construir estrutura. Uma coisa só pode ocorrer às custas da outra.

Portanto, não pode existir contradição, como parece sugerir Brillouin, entre o aumento da organização (vital ou social) e a 2ª Lei, pois, em certos contextos, o aumento da entropia é o próprio aumento da organização.

Conforme esclarece Denbigh, o conceito de organização tem o significado de **complexidade**, e não o de ordenamento, o qual lhe é oposto em sentido. É o ordenamento, e não a organização, o conceito que está relacionado inversamente à entropia. Denbigh, porém, chama atenção para o fato de que 'desordenamento' deve ser entendido em sentido mais amplo que o meramente configuracional. A organização seria, nessa visão, uma espécie de 'ordem de alto nível', isto é, de ordem num patamar qualitativo superior.

Partindo dos conceitos sugeridos por Denbigh, J. WICKEN (1987: p. 43) esclarece que há dois sentidos em que os elementos de um sistema físico podem ser arranjados de modo não-casual. Um deles é de acordo com os padrões internos ou propensões estatísticas; o outro, de acordo com considerações funcionais. A primeira expressa ordem; a segunda, organização e informação funcional. A ordem biológica é, assim, tanto

ordenada quanto rica em informação. Ordem e complexidade seriam, nessa perspectiva, conceitos cognatos, mas opostos em significado.

Para WICKEN (1987, p.43), as idéias de ordem e de organização relacionam-se inversamente. A noção de compressão probabilística expressa bem essa relação inversa. Qualquer seqüência com M símbolos eqüiprováveis e duração N requererá para sua especificação N Log M bits. Essa é então a situação de máxima **complexidade** concebível na seqüência. Reduções desse valor seriam **ordenamentos**.

Conforme recorda WICKEN (1987, p.44), são duas as fontes de ordenamento em estruturas: a primeira envolve as probabilidades absolutas dos elementos; a segunda relaciona-se às probabilidades condicionais. Se estas últimas são iguais a 0 ou 1 (constrangimentos fixos), então a ordem é completa. Assim, desvios de eqüiprobabilidade são redutores de complexidade e ampliadores de ordem. Já o aumento do número de elementos produz efeito inverso: reduz a propensão estrutural influenciando o arranjo, aumentando assim a complexidade e diminuindo a ordem. Podemos portanto perceber que ordem é sinônimo de redundância e informação (ou organização), de complexidade.

Com base nessas definições podemos afirmar que um sistema organizado consiste em um conjunto funcional de partes e sub-partes conectadas, o que quer dizer o mesmo que uma estrutura. "Um sistema organizado tem aquelas funções particulares que suas partes constituintes e interconexões são capazes de arquivar. Isso sugere a possibilidade de relações lógicas entre estrutura e função". WICKEN assinala ainda que o fato de que o conceito de organização é muitas vezes estendido a sistemas afuncionais torna-o mais confuso. Para ele, "sistemas organizados são caracterizados por relações estruturais que requerem informação para sua especificação" (1987: p.40).

O mais conhecido tipo de sistema organizado é a classe chamada por Prigogine 'sistemas dissipativos'. Sua característica geral é a manutenção de um estado que é deslocado do equilíbrio termodinâmico devido a um contínuo influxo de energia. Os sistemas vivos (tipo de sistema dissipativo) são portanto, ao mesmo tempo, **processos e coisas**.

Eles têm estruturas separadas de seus meio-ambientes, mas, como no rio heraclítico, estão em fluxo contínuo. O fluxo termodinâmico assegura a estrutura e esta, inversamente, informa o fluxo.

A organização é de fato uma propriedade fundamental da vida. Organismos são sistemas dotados de organização, de complexidade. Mas em que sentido poderíamos dizer que são ordenados? Uma enzima não é mais casual que a estrutura de um computador. Em ambos os casos a não-casualidade da estrutura não é (propriamente) questão de ordem, mas de organização funcional. A ordem nos sistemas vivos manifesta-se de forma hierárquica, como uma organização biológica **sistêmica**. Tal ordem de nível superior é atributo do **todo** do organismo, não da soma das partes de seu alfabeto.

Com a finalidade de medir o grau de organização de um sistema, Denbigh criou a noção de **integralidade**, a qual não exporemos aqui em pormenores por fugir um pouco ao escopo desta secção. Para nossos propósitos é suficiente saber que o conceito de integralidade torna possível estabelecer relação entre a organização e parâmetros definíveis matematicamente, como conectabilidade e a variedade.

Após o percurso feito acima, onde buscamos uma delimitação mais precisa de conceitos-chave como ordem e organização, retornamos ao conceito de 'neguentropia' com uma visão mais clara, a qual nos permite inclusive distinguir melhor entre os conceitos termodinâmico e informacional de entropia. Com base nisso podemos concluir que:

- a) A entropia termodinâmica é relativa à ordem, enquanto que a entropia informacional é relativa à organização ou complexidade;
- b) Não há contradição entre 2ª Lei Termodinâmica e crescimento da organização. O que unifica os dois conceitos de entropia é o fato de serem **entidades não-conservadas**, isto é, entidades que sempre crescem, embora muitas vezes não no mesmo sentido;
- c) Portanto, a hipótese de base que deu origem ao conceito de 'neguentropia' – a de que não há como identificar, senão inversamente, informação e entropia – mostra-se incorreta. Mas,

da mesma forma que o fruto do pecado não é necessariamente algo em si pecaminoso, concordamos com Wickens na assertiva de que o conceito de 'neguentropia' pode ser aproveitado – por exemplo no sentido proposto por ele, de 'compressão probabilística' –, mas desde que isso não resulte em um retorno à hipótese que o originou.

4. Problemas Epistemológicos Relacionados ao Conceito de Entropia.

O conceito de entropia encontra-se intimamente enredado com várias noções científicas das mais controversas, como **irreversibilidade**, **tempo, causalidade** e **previsibilidade**. Qualquer tentativa de definição consistente e universal dessas categorias – em particular das duas primeiras – passa invariavelmente pelo exame epistemológico do princípio entrópico, o qual evidencia os mais surpreendentes elos entre Ciência e Filosofia.

Como nos relata GAL-OR (1975: p. 213), há na Física basicamente duas escolas de pensamento a respeito dos problemas epistemológicos suscitados pelo conceito de entropia:

- a) A **escola estatística** (clássica e quântica), de caráter idealistasensualista. Essa escola postula um abandono da questão ontológica em detrimento do problema gnoseológico, ou seja, reclama que os cientistas não devem perguntar-se sobre o que é uma coisa, mas apenas e exclusivamente sobre como podemos conhecê-la. A escola estatística extrai a irreversibilidade, a entropia, a informação e as assimetrias temporais de uma seleção deliberada 'a priori' de condições iniciais impostas pela teoria probabilística da simetria temporal;
- b) A escola astrofísica, de caráter realista. Essa escola considera imprescindível a consideração dos objetos em sua dimensão ontológica. Ela deduz a irreversibilidade e a assimetria temporal

termodinâmica e eletromagnética do desequilíbrio de larga escala fruto da dinâmica de expansão e resfriamento do Universo.

Uma vez posto isso, passemos à enumeração de algumas questões epistemológicas relacionadas à idéia de entropia, conectando essa exposição às respostas desenvolvidas pelas duas principais correntes de pensamento. Comecemos com dois importantes **paradoxos** relacionados ao fenômeno entrópico, ambos ainda não elucidados.

Conforme já mencionamos ao final da secção sobre a história do conceito de entropia, observações empíricas demonstram que, ao longo do espaço cósmico a nós acessível, as propriedades da natureza não apresentam qualquer semelhança com as de um sistema em equilíbrio. Por outro lado, a Termodinâmica Estatística reivindica que qualquer região finita do universo – não importando o quão larga seja – deve ter um tempo finito de relaxamento, o estado de equilíbrio. Para piorar, esses 'tempos finitos de relaxamento' devem aumentar com o tamanho do os equilíbrios parciais de pequenos sistemas consideravelmente mais rápidos que os de grandes sistemas. Quando aplicado em relação ao Universo, portanto, esse postulado falha. A observação contradiz, aqui, a predição, na medida em que sabemos hoje que o Universo como um todo **não** é um sistema em equilíbrio.

Outro interessante paradoxo, este de natureza informacional, envolve o princípio da aditividade da entropia e a Lei dos Grandes Números. Esse paradoxo relaciona-se ao fato de que a quantidade de informação necessária para descrever o conteúdo de um sistema aumenta na proporção direta do volume do sistema. No entanto, em Cosmologia a precisão das previsões cresce justamente com o volume do objeto – o que é explicado pela Lei dos Grandes Números. Ou seja: se somente uma quantidade finita de informação é necessária para especificar o universo inteiro, então a entropia por unidade de volume tende a zero quando este volume aumenta indefinidamente, o que é claramente um absurdo. Aqui, para GAL-OR (1975, p. 216), o que parece falhar é o princípio da aditividade da entropia (2ª Lei).

Mas talvez o mais importante problema epistemológico relacionado à idéia de entropia seja mesmo o da **irreversibilidade**. O traço comum de todo processo irreversível é a produção de entropia. É ela que faz cada momento único na história do Universo.

A 2ª Lei da Termodinâmica demonstra que, em um conjunto de possíveis seqüências de um sistema, aquela que fizer de

- $\sum P_i Log P_i$

o valor máximo possui maior probabilidade de ocorrer que todas as demais combinadas. Isso é o mesmo que dizer que se um sistema, em sua condição atual, não está na máxima condição de entropia, as condições possíveis nas quais ele pode transformar-se tendem a ser condições de maior, e não de menor entropia. Se as atividades das partes elementares de um sistema são independentes umas das outras (não há redundância) de forma que o próximo estágio do sistema é aparentemente uma questão casual, então a probabilidade de que a entropia cresça excede vastamente a de que ela decresça.

Em sistemas com número infinitamente grande de partes elementares, é praticamente certo que a entropia crescerá, ou, o que dá no mesmo, é praticamente certo que o sistema se aproximará da situação de máxima probabilidade, que é o estado de equilíbrio. Daí porque um sistema que está comprimido em seu espaço de fase, acessando apenas uma pequena fração de estados microscópicos disponíveis (como um organismo), é naturalmente um sistema em não-equilíbrio.

A essência da irreversibilidade está no fato de que o crescimento da entropia é uma regra, e seu decréscimo uma exceção. Isso significa que, se observada **na média**, a entropia apenas aumenta, jamais retornando a estágios anteriores, de menor entropia. O aumento da entropia é o que podemos chamar de uma **certeza estatística**.

Por que a irreversibilidade possui natureza estatística? Há um exemplo, fornecido por WICKEN (1987: p. 67), que certamente nos ajudará a compreender melhor a questão.

Suponhamos a existência de um sistema composto de 1000 dados. Se todos forem lançados, juntos configurarão algum macroestado entre 1000 (se todos derem 1) e 6000 (se todos derem 6). O macroestado é, portanto, a soma dos resultados dos 1000 dados.

Agora vamos supor que arranjemos todos os 1000 dados com a face 6 para cima. Teremos então configurado o macroestado 6000. Esse macroestado é altamente improvável, pois apenas um arranjo específico (um microestado) pode configurá-lo: aquele em que todos os dados resultam com a face 6 para cima. Por isso esse macroestado (na prática impossível em se tratando de 1000 dados) como que "pede" para mudar, ou para ser transportado para uma situação mais favorável.

No sistema em questão, o macroestado 3000 constitui-se na situação mais favorável, aquela com maior entropia. Isso é muito fácil de entender, posto que uma enorme quantidade de arranjos (ou de microestados) podem configurá-lo.

Assim, provido que tenhamos uma fonte de movimento, como um chute nos dados, certamente o sistema de dados assumirá configurações mais favoráveis. Se essa fonte de movimento for constante (chutes seguidos), o sistema se aproximará gradativamente do macroestado 3000, sendo esse caminho **estatisticamente** irreversível. É importante notar que, se a fonte de movimento não existir, o caminho irreversível para o macroestado 3000 não se confirmará, permanecendo como mera tendência.

Na Teoria da Informação, o fato de que não existe mensagem sem ruído liga-se de forma estreita ao 2. Princípio da Termodinâmica, segundo o qual em um sistema fechado a desordem aumenta com o passar do tempo, na proporção em que esse sistema caminha para o equilíbrio com seu meio-ambiente. O ruído é fator de destruição potencial do ordenamento da mensagem, isto é, de reintegração dessa mensagem à sua matéria de origem. É como se a natureza lutasse constantemente pela indistingabilidade das coisas. Logo, se ela pudesse pronunciar-se filosoficamente, provavelmente se diria monista, e não atomista.

A irreversibilidade reivindica uma compreensão não-atomística da natureza. A Termodinâmica, ao contrário da Teoria da Informação, pode de fato ser conceituada como uma ciência não-atomística. Essa compreensão de cunho monista, integrador, que não vê a natureza como um 'bloco de coisas', seria exigida, de acordo com WICKEN (1987: p. 78), pelo fato de que a 2ª Lei não é uma propriedade externa dos corpos, e nem mesmo uma força tal qual a gravitação, mas simplesmente um **princípio de potência**, isto é, algo que está presente em tudo sem, no entanto, fazer parte de nada.

Um importante e controverso problema relacionado à irreversibilidade é o de sua **origem** na Termodinâmica Estatística. Seria a irreversibilidade embutida aprioristicamente na teoria? Ou corresponderia ela a algo de efetivamente real?

Ambas as escolas de pensamento, a estatística e a astrofísica, concordam que a irreversibilidade macroscópica é extraída de equações simétrico-temporais via alguma espécie de condições iniciais, ou seja, através da suposição de uma **assimetria** (condição inicial) nas equações de caráter estatístico-reversível. A discordância dá-se quanto à natureza dessas condições iniciais formais.

Copenhague (ou estatística) defende que a irreversibilidade origina-se no instrumento (ou observador) macroscópico que registra informação e retém um registro dela (mas não possui um registro do passado). Conseqüentemente a assimetria temporal pode ser imposta pelo observador e não criada pelo sistema de que faz parte. Com isso a escolha de condições iniciais surge não como lei da natureza mas como resultado de nossa posição como observadores macroscópicos.

A argumentação de Copenhague apresenta consistência arrebatadora. De fato, apesar da crença comum de que a aparência de casualidade, por exemplo, vem de algum fenômeno casual microscópico (como a agitação térmica), podemos obter um comportamento casual sem assumir a existência de qualquer acaso subjacente. É demonstrável que em certos casos não podemos distinguir entre acaso no sistema e acaso no

instrumento de observação do sistema. Como nos mostra ORNSTEIN (p. 183), o sistema que resulta da adição de uma pequena quantidade de acaso poderia ser reproduzido exatamente se olhássemos o sistema original através de um visor que o distorce casualmente mas não muito. Esse resultado é algo surpreendente, pois o efeito do visor não é cumulativo, enquanto que o da perturbação original o é.

Já a **escola astrofísica** tem sobre o problema da origem da irreversibilidade concepções distintas das que possui a Escola de Copenhague. Aquela responde a esta última afirmando que os observadores humanos não podem causar o retrocesso de sistemas macroscópicos por sua própria escolha ou presença (argumento que nos parece de um realismo um tanto ingênuo). Além disso, para a escola astrofísica os observadores não podem ser isolados do resto do Universo e, portanto, não são independentes. As condições iniciais assumem, com isso, o caráter de **leis objetivas**.

Para a escola astrofísica, portanto, a origem da irreversibilidade é **cosmológica**. Sua origem nunca está dentro de um sistema local, até porque é provado que, quando isolamos um sistema das assimetrias do mundo externo, a irreversibilidade aos poucos decai.

WICKEN (1987: p. 72) segue essa trilha de pensamento. Para ele, a origem física de todo processo irreversível está no desequilíbrio entre formas potenciais e cinético-radiantes de energia trazido pela dinâmica cósmica de expansão e resfriamento. Esse desequilíbrio adviria do fato de que a expansão cósmica tem procedido mais rápido que o equilíbrio psicoquímico, fornecendo com isso uma direção global para processos irreversíveis. O fluxo de energia ocorrendo sob esse desequilíbrio teria conseqüências preditivas.

GAL-OR (1975: p. 225), que também simpatiza com o ponto de vista astrofísico, afirma que a irreversibilidade da 2ª Lei não é um postulado independente, gratuito, mas baseado em condições **cosmológicas** iniciais. Ela deve portanto ser deduzida e derivada, por um lado, da conservação local de energia (a 1ª Lei), e, por outro, da dinâmica global de evolução do Universo. Isso eliminaria definitivamente um certo aspecto

'fenomenológico' da 2ª Lei, na medida em que imporia a necessidade de construção de uma teoria termodinâmica global-local sem hipótese **a priori** de existência de entropia. No entanto, para a formulação dessa teoria termodinâmica unificada a principal dificuldade segue sendo a de formular elos formais entre o mundo do muito vasto e o mundo do muito pequeno.

Mas o que exatamente separa essas duas dimensões – a do muito pequeno e a do muito vasto? Uma diferença essencial (mas não a única) está na coexistência de comportamentos distintos, e até opostos, entre essas duas dimensões. No **micromundo** encontramos reversibilidade; no **macromundo**, comportamentos irreversíveis.

Pouco acordo tem sido alcançado quanto à natureza dos vínculos entre micro e megassistemas. Enquanto que as leis da Mecânica são simétricas com respeito ao tempo reverso, as leis da Termodinâmica (que não são mecânicas) possuem status essencialmente irreversível. A elucidação desse problema segue sendo um dos desafios da Ciência.

Um dos mais importantes problemas epistemológicos relacionados à irreversibilidade é o da natureza do tempo. O **tempo** segue ainda hoje como uma grandeza fenomenológica para a Física, posto que não se sabe qual a natureza do instigante sistema de coordenadas temporais na qual a maioria das leis físicas está embutida.

A 2ª Lei da Termodinâmica assumiu grande importância em qualquer discussão epistemológica sobre o tempo. Ela parece provar que a passagem do tempo é **unidirecional**, o que significa que basta medirmos a entropia de dado objeto em dois instantes de tempo para sabermos qual o instante do passado e qual o do futuro. Isso define uma 'seta do tempo'.

Há diversas questões filosóficas suscitadas pelo conceito de tempo. Pode ser a seta do tempo derivada da expansão do universo e do fluxo irreversível de radiação? Estaria a irreversibilidade relacionada com a assimetria cosmológica? Por que motivo há assimetria temporal em tudo? E por que todas as assimetrias temporais (termodinâmica, biológica, eletromagnética) atestam a 'direção positiva' do tempo? Essas são questões sobre as quais a Ciência ainda realiza seus primeiros progressos.

Ademais, seria lícito afirmar a existência de uma única **seta do tempo**? Para GAL-OR (1975: p.s 251-216), não. Ele define três setas cosmológicas do tempo. A seta mestra é a assimetria cosmológica temporal gerada pela expansão do espaço. Uma segunda seta cosmológica temporal é definida pela decréscimo da temperatura, ou da densidade de radiação no mundo em expansão. A terceira seta cosmológica seria o fluxo unidirecional de energia radioativa da superfície dos sistemas galácticos para o frio. Essas duas últimas setas são originadas e dominadas pela primeira, enquanto que o contrário é considerado **fisicamente** impossível.

O fato de que a seta mestra, cosmológica, parece ditar todos os processos locais do Universo traz de volta uma questão já por nós tangenciada algumas vezes, em particular quando tratamos da Lei dos Grandes Números: por que deve o grande sistema ditar o comportamento do pequeno, e não o contrário, como se poderia depreender de uma visão atomística do Universo? Um pequeno sistema não pode jamais ditar irreversibilidade em um grande. Só o inverso é possível, o que parece colocar a necessidade de pôr os fundamentos da Termodinâmica local a serviço da dinâmica de larga escala do universo. Essa questão pode ser melhor elucidada pela Filosofia, como veremos mais à frente, através da idéia de **conexão universal**.

Também J. Wicken não crê na existência de uma única seta temporal. Para ele, ontogênese, evolução e termodinâmica expressam cada uma seta do tempo. Essas setas devem ser dispostas em hierarquia, pois um cosmos coerente é incompatível com visões paralelas do tempo. WICKEN (1987: p. 6) afirma que, se é verdade que a 2ª Lei governa todo processo irreversível, então um cosmos materialisticamente coerente requer conexão com essa lei.

Uma outra questão diz respeito à relação entre **irreversibilidade e tempo**. Por que o tempo é irreversível? UYEMOV (1975: p. 93) afirma que hoje não podemos mais tratar essa questão como fizeram Leibniz e Kant, que, através da chamada 'teoria causal do tempo', assentavam sua essência no princípio de causalidade. Essa resposta é insatisfatória, pois a

determinação da relação de precedência das causas no tempo pode facilmente gerar um círculo vicioso.

Uma outra hipótese é concernente à tentativa de determinar a seta temporal pela 2ª Lei Termodinâmica, através do incremento de entropia. Para UYEMOV (1975: p.s 93-94), o que inibe essa tentativa é o 'princípio da entropia negativa' ou 'princípio da conservação da entropia' (caso particular do princípio geral da conservação formulado por Lomonosov). Segundo esse princípio, o incremento da organização em um sistema está vinculado ao decréscimo da organização em outro (os organismos, por exemplo, mantêm-se vivos exportando entropia para seus arredores). Se esse princípio neguentrópico é verdadeiro, então para Uyemov a entropia não pode ser aplicada ao vetor da seta temporal, pois ela não cresceria sempre e nem em todos os casos.

Outros parâmetros podem ser usados para determinar a seta temporal mestra, como o grau de homogeneidade, de complexidade ou até a tendência estatística das coisas de passarem de estados menos prováveis a estados mais favoráveis. O que unifica essas abordagens é a tentativa de identificar relações assimétricas.

Segundo UYEMOV (1975: p. 95), muitos dos problemas surgidos na abordagem do tempo são oriundos de tratamentos inadequados do conceito de matéria. "O tempo é uma forma de existência da matéria. Como afirma Askin, 'ao reduzir o tempo a meros parâmetros físicos incorremos no mesmo erro que os que em seu tempo reduziram a noção de movimento à de movimento mecânico".

De fato, a idéia de Uyemov nada deixa a dever às mais abarcantes concepções filosóficas. Já no início do século LÊNIN afirmara: "O tempo é uma forma de ser da realidade objetiva" (1989: p. 204).

UYEMOV (1975: p. 100), porém, não leva essa idéia às últimas conseqüências, e vê-se novamente às voltas com a tentativa de encontrar causas específicas 'não-termodinâmicas' para a assimetria temporal. Ele identifica na transição irreversível de sistemas externos para sistemas internos – tendência demonstrável matematicamente – essas 'causas não-termodinâmicas'. Há, porém, um problema nessa abordagem, semelhante

ao da morte térmica na abordagem do vetor temporal pela entropia: se a direção do tempo é dada pela transição de um tipo de sistema a outro, então como o Universo ainda não alcançou um estado de homogeneidade sistêmica? O próprio Uyemov confessa-se incapaz de responder esse problema.

Uma outra questão relaciona-se à **medida do tempo**. Como medir o tempo absoluto? É altamente duvidoso que as taxas de processos cosmológicos e a idade do Universo possam ser medidas por quaisquer das unidades correntes de tempo (anos terrestres, relógios atômicos, etc). Nos primórdios do Universo, onde havia temperaturas extremamente altas, essas unidades não existiam ou não eram relevantes.

Porém, a assimetria mestra (a expansão do Universo) estava lá desde o início da expansão. Por que não usar então essa assimetria volumétrica mestra para definir o conceito de tempo? Segundo GAL-OR (1975: p. 227), é lógico e útil definir o tempo de acordo com a relação

$$T = V^{\frac{1}{3}}$$
, onde

V é o volume do espaço em dada época.

Para UYEMOV (1975: p.s 100-101), a evolução do Universo deve ela própria ser considerada um relógio absoluto. A escolha do volume ao invés de uma escala linear evita possíveis mal-interpretações sobre a fase primordial da expansão cósmica.

A irreversibilidade toca ainda em um problema já por nós abordado anteriormente: a **capacidade preditível** da Ciência. Conforme nos relata GAL-OR (1975: p.s 213-214), "a Termodinâmica e a Mecânica Estatística contêm diversos paradoxos", alguns dos quais já enunciados acima. Mas talvez o mais notável deles seja o conhecido "**paradoxo de Zermelo**", que está

relacionado a um paradoxo mais antigo inerente à Teoria das Probabilidades desde a época de Pascal e Fermat, quando foi firmado o "princípio da probabilidade de causas". Ele relaciona-se ao fato empírico de que a predição estatística cega é 'fisica', enquanto que a retrodição estatística cega não o é ... Calculamos apenas a probabilidade de algo que acontecerá, mas não a probabilidade de algo que já aconteceu. Isso é reconhecido hoje como uma condição inicial (a priori) assimétrica imposta pelos físicos estatísticos nas equações simétricas de evolução macroscópica.

Tal condição corresponderia ao princípio de causalidade.

Para a escola astrofísica, essa condição inicial assimétrica origina-se da expansão unidirecional do universo – a qual foi, afinal, originada por uma condição **inicial**, não por uma condição **final**. Nesse sentido, a dinâmica unidirecional do universo dita a natureza irreversível das observações, o que remete a idéias de conexão causal entre eventos. Nessa perspectiva, o tempo adquire caráter objetivo na dinâmica de tais eventos, pois processos irreversíveis desdobram-se preditível e deterministicamente para o equilíbrio em um sistema termodinâmico isolado, e não podemos retrodizer do estado de equilíbrio a seqüência singular de estados que o precederam. O passado parece carecer de singularidade ou necessidade quando visto do presente. O futuro, ao contrário, parece estruturado por leis causais que operam no presente. Essa visão da escola astrofísica é, porém, de um realismo excessivamente puro e otimista.

Mas após essas afirmações é já do problema da **causalidade** que estamos tratando.

O paradigma mecânico de causação tem dominado o pensamento científico há muitos séculos. Apesar de ter sido expandido pela Mecânica Quântica, o conceito de 'mecanismo' segue ocupando terreno causal singular.

Como nos reporta J. WICKEN (1987: p. 56), o conceito de entropia introduz, porém, idéias novas com relação ao conceito de causalidade. Ao contrário do paradigma causal clássico, de tipo predominantemente mecanístico, a Termodinâmica define de forma cientificamente rigorosa a existência de uma **hierarquia causal de dupla camada**: uma mecanístico-contingente; a outra estatístico-necessária.

Como vimos anteriormente, a Termodinâmica, em particular em seus primórdios, é uma ciência bastante empírica. Sua estrutura formal consiste de relações algébricas entre os chamados 'parâmetros de estado', que especificam singularmente o estado do sistema. Alguns desses parâmetros (pressão, temperatura) são operacionalmente definíveis e diretamente mensuráveis. Outros (energia interna, entropia) não são diretamente mensuráveis, mas podem ser definidos em termos de parâmetros que o são (calor, trabalho, etc) dentro de uma estrutura global de conservação energética (1ª Lei).

Essa estrutura da Termodinâmica, contudo, não é **explanatória** no sentido teórico usual, pois a Termodinâmica **não** trata propriamente com causas **mecanísticas** de mudanças. Isso não significa, contudo, que ela seja uma Ciência estritamente fenomenológica.

Segundo J. WICKEN (1987: p.57), a estrutura causal da Termodinâmica é melhor descrita como 'teleomática' – termo cunhado para expressar o caráter nem propriamente teleológico nem propriamente mecânico da irreversibilidade. O 'teleomático' seria algo situado entre o teleológico (termo excessivamente vinculado à concepção da 'causa final' aristotélica) e o mecanístico. Isso significa que a existência de sistemas depende tanto de mecanismos de operação quanto de causas estatístico-termodinâmicas – as quais se encontram no domínio de um 'epistemologia dos porquês'.

De fato, a **distinção porque-como** é crítica para estabelecer uma estrutura causal coerente. A Termodinâmica, como Ciência, lida mais com 'porquês' que com 'comos'. Isso, porque a 2ª Lei não expressa a **operação** das forças básicas da natureza (embora trabalhe através delas). Ao contrário disso, ela expressa uma camada causal mais profunda, relativa à **direção** da dispersão probabilística de matéria e energia no espaço W, uma direção que existe independentemente de qualquer conjunto dado de mecanismos cinéticos. Essa direção – referida aqui como 'teleomática' – constitui-se precisamente na camada macroscópico-necessária da hierarquia causal.

Vimos que na Termodinâmica Clássica o princípio do aumento da entropia é um tipo de causa final indefinível cujo conteúdo ontológico está oculto da vista. Na Termodinâmica Estatística, porém, esse princípio deriva de conceitos probabilísticos tendo a mesma claridade racionalística

e a mesma 'necessidade' daqueles de mecanismo. A similaridade, porém, 'morre' por aí, pois conceitos probabilísticos não possuem qualquer relação com conceitos mecanísticos.

O caráter 'teleomático' dos processos termodinâmicos resulta das condições de irreversibilidade. Desde que a Mecânica e ciências afins lidam estritamente com leis de caráter conservativo, a irreversibilidade está além de seus domínios. A Termodinâmica, a Teoria da Informação e a Biologia seriam, com isso, as únicas ciências que lidam com direcionalidade inerente.

Um interessante exemplo de atuação do caráter teleomático da 2ª Lei é fornecido por WICKEN (1987: p. 65). Suponhamos um gás inicialmente confinado à metade do volume de um cilindro, e ao qual fosse permitido expandir-se livre e rapidamente. Ao longo do tempo, ele assumiria uma densidade uniforme no interior do cilindro. Desde que há muito mais possibilidades microscópicas para distribuições uniformes (entropia máxima) que para distribuições não-uniformes, o processo acima poderia ser descrito como uma expansão no espaço de probabilidade W, a qual representa a expansão no espaço físico. Sistemas termodinâmicos requerem a maximização de seus volumes no espaço W, provido que tenham meios cinéticos para isso. Se esses meios não existem ou não estão disponíveis, a expansão em W permanecerá como mera tendência.

Portanto, mecanismos cinéticos são requeridos para qualquer transformação. Um meio cinético pode ser definido como um canal mecânico ao longo do qual a produção de entropia pode ocorrer. Mas, de acordo com o princípio da reversibilidade microscópica, esses mecanismos não podem contar para direções temporais. Só a segunda camada causal, macroscópica, caracterizada pela produção de entropia ou expansão no espaço W, pode determinar sentidos temporais. Do que podemos depreender que falar em 'mecanismo teleológico' é uma contradição em termos, pois contingência (mecanismo) e necessidade (teleologia) ocupam níveis causais distintos.

A 2ª Lei diz apenas que a dispersão probabilística de matéria e energia deve aumentar com qualquer processo irreversível. Mas o **caráter**

dessas expansões é determinado por condições mecânicas locais. Esse duplo caráter da causalidade (necessário/contingente) destaca a distinção entre o princípio de entropia e as várias forças da natureza. As últimas são dadas na natureza e apenas constrangem as formas que os fenômenos podem assumir. Ao contrário, a 2ª Lei é, conforme já destacamos, um **princípio de potência**, através do qual o necessário é atualizado pela mediação do favorável. Isso indica, conforme assevera J. WICKEN (1987: p.s 224-225), que "a possibilidade, no sentido de intersecções fortuitas de cadeias causais independentes ... é cega, mas não é livre".

O caráter estatístico da conexão necessária, portanto, não explica **como** uma dada sucessão de macroestados se desenvolve, mas apenas **porque** ela faz isso. A primeira questão tem sentido puramente mecânico. Mas a irreversibilidade, ao contrário, é explicada probabilisticamente. A conexão probabilística fornece a causalidade necessária, enquanto que a conexão mecânica fornece a causação contingente.

Todo processo natural (e, é possível argumentar, todo processo social também) envolve essa hierarquia causal de dupla camada. Isso significa que, em lugar de expressar a natureza como um 'bloco de coisas', é necessário expressá-la hierarquicamente, com um corpo comum de leis e constrangimentos em cada nível da hierarquia. Os diversos níveis hierárquicos provêem singularidade de contexto para determinadas leis, sendo sempre os padrões do micromundo deriváveis dos do macromundo, jamais o contrário.

A idéia de uma dupla camada causal, no entanto, não foi **introduzida** pela descoberta do conceito de entropia, mas apenas por ela **definida rigorosamente**. Muito antes disso a Filosofia já havia chegado a essa idéia.

O **princípio da razão suficiente**, base da filosofia de Leibniz, já contrapunha o suficiente, o teleológico da razão à causalidade propriamente dita, modo mecânico de atuação. Leibniz buscava, mais que as causas, a ligação entre elas, isto é, o **Todo**.

Também Hegel já atentava para o fato de que "A oposição da teleologia e do mecanismo é, antes de mais, a oposição mais geral de

liberdade e necessidade". Teleologia significa, em Hegel, "tradução do conceito para a objetividade" (APUD LÊNIN, 1989: p. 172).

Portanto, o que hoje é conceito científico delimitado de forma cientificamente rigorosa surgiu antes como genial intuição filosófica. E isso não ocorreu apenas com a idéia de entropia e sua noção causal subjacente, mas com diversos outros conceitos da Ciência. Conforme ressalta ENGELS (1982: p. 408), "antes a Filosofia da Natureza preenchia as lacunas da Ciência Natural usando a simples imaginação, o que gerou intuições geniais, mas também grandes contra-sensos. Hoje, porém, é a Ciência que preenche as lacunas do pensamento puro".

De fato, a Filosofia, em sua longa trajetória, imiscui-se progressivamente no desenvolvimento da Ciência, de forma a não mais podermos concebê-las separadamente. Em função disso, a corrente marxista reclama o **fim da Filosofia** – pelo menos em sua clássica acepção, como 'amor à sabedoria'.

A história mesma da Filosofia parece dar razão a esse ponto de vista, que reivindica a completa **reintegração** da Filosofia à Ciência. Mas alguém poderia, espantado, interrogar: **re**-integração? Veremos como é possível falar nisso ao examinarmos, a seguir, os primórdios do **pensamento racional**, no qual Ciência e Filosofia viviam inocentemente untadas no regozijo de sua hoje alienada unidade original.

Capítulo 4

OBJETIVIDADE: A FILOSOFIA COM A PALAVRA

"A natureza é perfeita, Não há quem possa duvidar. A noite é dia que dorme E o dia é a noite ao despertar"

Alvaiade da Portela

Vimos anteriormente que o instrumental teórico da Teoria da Informação – e, em particular, as noções de informação e entropia – trazem consigo, de forma subjacente, certas idéias sobre a natureza do conhecimento. Essas idéias comparecem materializadas em formas particulares de conceber importantes categorias da Teoria do conhecimento, como determinismo, causalidade e previsibilidade, dentre outras. O conjunto dessas concepções caracteriza uma forma determinada de conceber a **objetividade** do conhecimento.

Mas o que intentamos exatamente ao classificar um conhecimento de "objetivo"? A objetividade é uma categoria que diz respeito à **correspondência** entre um pensamento e a realidade que se propõe representar. Se a determinado pensamento corresponde uma realidade objetiva (passível de apreensão pelo sujeito em sua essência) diz-se desse pensamento que é um **conhecimento objetivo**.

Em nossa visão a objetividade não é uma categoria ontológica. Acreditamos que seria mais correto delimitá-la como um conceito da Teoria do Conhecimento. Porém, não resta dúvida de que, dentre as categorias gnoseológicas, é a objetividade a que mais diretamente relaciona-se com a problemática ontológica. Diríamos mesmo que, através dela, a problemática ontológica insinua-se por dentro da Teoria do Conhecimento.

É evidente que não tratamos aqui de uma discussão das mais simples. Ela envolve elementos de grande complexidade, como, por exemplo, o que de fato entendemos por 'realidade' ou por 'correspondência' entre pensamento e realidade.

Essa é provavelmente a mais recorrente discussão da História da Filosofia, e há sobre ela os mais diversos pontos de vista – às vezes tão opostos quanto os de um Locke e um Descartes, ou quanto os de um Kant e um Hegel.

A discussão sobre a objetividade do conhecimento nem sempre é feita com o uso direto dessa categoria, como veremos. Há diversas outras que vez por outra surgem como que 'apegadas' à discussão – com destaque aqui para a noção de Totalidade, na qual sempre pareceu apoiarse qualquer proposta de conhecimento objetivo.

Assistamos então, a partir de agora, a esse belo desfile que se seguirá, no qual, com paciência e perseverança, tentaremos expor minimamente como se desenvolveram certas concepções que hoje guardamos a respeito do conhecimento. Comecemos com a Grécia Antiga, berço do pensamento racional, onde se desenvolveram as primeiras idéias sobre a possibilidade do conhecimento.

1. Primórdios da Noção de Objetividade

Dá-se na Grécia Clássica – e, em particular, nas colônias micênicas da Ásia Menor – o primeiro momento em que o ser humano pensa a respeito do conhecimento. As primeiras idéias acerca dos fundamentos da intuição e da intelecção são formuladas pelos filósofos do período présocrático, os quais se esparramavam por basicamente quatro escolas de pensamento.

O surgimento do pensamento racional com os pré-socráticos explica-se socialmente pelo avanço das condições de vida nas colônias micênicas da Ásia Menor, fundadas por aqueles que conseguiram escapar da destruição do Império Micênico pelos dóricos (povos vindos do norte).

Nas colônias micênicas da Ásia Menor, o resgate do comércio com o Oriente – bloqueado pelos dóricos –, da navegação e a instauração da moeda favoreceu os comerciantes, navegadores e artesãos em detrimento dos aristocratas aldeões. Essa explosão de urbanidade impulsionou o surgimento da técnica, a qual, por sua vez, reclamava a substituição de concepções místicas por noções explicativas dotadas de altas doses de **racionalidade**.

Esse período corresponde ao da formação da Pólis. Mais que um espaço urbano concreto, a Pólis é um conceito do pensamento que reflete as novas condições da organização social. Nela, a palavra e o debate logram ocupar lugar central. A queda da antiga realeza micênica – que cumpria papel unificador – fazia surgir a idéia de "**isonomia**", de equilíbrio entre as partes do corpo social. Com isso, passava-se a valorizar mais o coletivo em detrimento do individual.

A Filosofia nasce, assim, como resultante das discussões políticas da ágora (espaço público de debates) e dos rituais da religião pública (que, com sua divindade hierarquizada, servia à legitimação aristocrática da hierarquia social) e da religião órfica (mais restrita, de cunho iniciático e ascético-oriental).

O pensamento mítico anterior já havia legado todo um leque de motivos à nova forma de pensamento que se insinuava. A cosmogênese de Hesíodo já se desdobrava da unidade primordial à diferenciação, ao múltiplo. A mitologia, assim, legava aos pré-socráticos a problemática da **Totalidade**, idéia na qual o pensamento buscará apoiar-se em seus primórdios.

A primeira das escolas pré-socráticas surgiu na Jônia, região que congregava as ilhas da Ásia Menor. A **escola jônia** possuía teor fortemente **materialista**. Heráclito de Éfeso, representante dessa escola, afirmava

solenemente a existência real do mundo sensível: "Este mundo, que é o mesmo para todos os homens..."

O primeiro filósofo de que se tem notícia é **Tales**, nascido por volta de VII a.c. em Mileto, uma das colônias micênicas da Ásia Menor. Alguns vêem nele alguém que resgatou o pensamento mítico anterior (cujos maiores nomes são Homero e Hesíodo). Mas a verdade é que, se a forma de seu pensamento era até certo ponto mística, não o era o conteúdo de sua reflexão. Enquanto que a verdade dos mitos não era assentada na experiência, mas em uma espécie de "plausibilidade existencial", isto é, em sua capacidade de explicar costumes coletivos (criados e/ou reforçados pelos próprios mitos), a forma propriamente filosófica do pensar, por outro lado, substituía o sentido fantasioso pelo sentido lógico. Natureza e Sociedade passam a ser explicadas em si mesmas, não mais em termos de algo transcendente. O próprio Aristóteles vê em Tales o primeiro filósofo a fornecer uma explicação material do Universo.

De fato, a reflexão sistemática e rigorosa sobre a Natureza era a marca distintiva dessa nascente filosofia. Os Jônios tinham preocupações mais nitidamente ontológicas. Questionavam-se sobre a natureza do Ser, o que implicava uma reflexão sistemática sobre a relação entre categorias como identidade e contradição, unidade e multiplicidade, finito e infinito.

características do são As principais pensamento jônio imanentismo (a ordem é imanente, não transcendental) e o monismo (a realidade é una, idéia bem expressa no conceito de 'physis'). Para pensar a essência do Ser, os jônios criaram poderosas imagens abstrativas tais como a arquê (princípio originário do Universo) e a physis (princípio constitutivo de todas as coisas). Tais imagens, de fato, nada deixam a dever a muitos dos conceitos e princípios da Ciência Moderna. O princípio de conservação, por exemplo, já comparecia em germén contido na noção de arquê (o uno, o que muda sempre permanecendo no entanto o mesmo). Daí porque Aristóteles, como assinala LARA (1989: p. 47) atribuiu aos jônios a alcunha de "físicos" (em oposição aos eleáticos, que ele, conforme veremos a seguir, chamava de "metafísicos").

De maneira que Tales, ao afirmar a **água** como a única "physis", é o primeiro a buscar uma explicação do Universo com base em causas materiais – o que caracteriza o materialismo em seu primórdio. É importante lembrarmos que a noção de "physis", conforme destaca LARA (1989, p. 47) coaduna-se perfeitamente com o que modernamente chamamos Totalidade, matriz unitária da realidade diversa. Não se trata aqui, portanto, de uma noção empírica, mas, antes disso, de uma abstração construída com base na experiência.

A physis e a arquê revelam o infinito e o indeterminado, o que está em tudo sem se identificar com nada. Essas noções possuem, sem sombra de dúvida, sentido filosófico mais amplo que muitas das noções da ciência moderna, como ressalta F. ENGELS em "A Dialética da Natureza":

A Ciência Natural da primeira metade do século XVIII era muito mais avançada que a da antiguidade grega no que se refere ao conhecimento e à classificação de seus materiais, mas, ao mesmo tempo, estava abaixo dela no que diz respeito ao domínio ideal desse material, dentro da concepção geral da natureza. Segundo os filósofos gregos, o mundo era algo que havia saído do caos e depois se desenvolvera, isto é, algo que se fora fazendo. Para os naturalistas (do século XVIII) ... a natureza era algo ossificado, algo invariável ... (p.s 18-19)

O segundo filósofo jônio do ponto de vista cronológico é **Anaximandro** de Mileto (VI a.c.), a quem se atribui a primeira elaboração de uma cosmologia propriamente dita, "onde o espaço mítico é superado pelo espaço geométrico" (LARA, 1989: p. 52). Anaximandro concebia a arquê como o **ápeiron** (infinito), o qual engendraria toda a matéria com base em um movimento de bipartição do uno. Isso o coloca como o primeiro filósofo a esboçar, ainda que de forma apenas intuitiva, uma concepção dialética de gênese da realidade.

Inspirado no processo mecânico de rarefação e condensação utilizado na produção do feltro, **Anaxímenes** (VI a.c.) – o terceiro dos grandes filósofos de Mileto – afirma ser o princípio constitutivo do Universo o "**pneuma ápeiron**" (ar infinito). Aliando base técnica e largura de entendimento racional, Anaxímenes ofereceu maior consistência às especulações dos filósofos de Mileto.

Ainda no século VI a.c. levanta-se de Éfeso a voz de **Heráclito**, provavelmente o mais controverso dos filósofos jônios, a ponto de receber a alcunha de "o obscuro". Heráclito afirmava ser a verdadeira physis o **fogo**, concepção mais próxima do que se poderia considerar 'physis' na acepção da física moderna. As concepções de Heráclito o colocam como o primeiro filósofo a conceber o **movimento** como forma necessária de existência da matéria. Afirmava ele que "nos mesmos rios entramos e não entramos, somos e não somos ... não compreendem como o divergente consigo mesmo concorda; harmonia de tensões contrárias, como de arco e lira" (HERÁCLITO, 1992).

Heráclito remete sempre à idéia de totalidade. Para ele, a Razão é unidade de tensões contrárias, unidade que as oposições **aparentes** ocultam ao mesmo tempo em que sugerem. Sua concepção de unidade na diversidade – que bem mais tarde será retomada por Hegel – o coloca como o defensor de um 'monismo dialético'. Segundo HEGEL, em Heráclito a única coisa absoluta é o processo (APUD LARA, 1989: p. 67).

Empédocles de Agrigento (V a.c.) aprofunda o pensamento de Heráclito. É bastante influenciado pela idéia de isonomia, já que assistiu ao nascimento das grandes cidades-estado gregas. Em sua reflexão começam a insinuar-se preocupações mais propriamente gnoseológicas, na medida em que critica o racionalismo e suas 'verdades a priori'. Para Empédocles não há Razão para além do conhecimento; só o cognoscível é verdadeiro. A verdade absoluta não pode ser 'dada' de imediato, existindo apenas como o desenvolvimento a partir de verdades sempre relativas. Empédocles, porém, não descarta o rigor racional, mas o coloca aliado da experiência, o que confere legitimidade a qualquer recurso de apreensão da realidade. Há inúmeras semelhanças, como veremos adiante, entre este filósofo e o pensamento de Hegel.

Empédocles é o primeiro pensador a imaginar uma **cosmologia evolucionária**, baseada em uma **physis múltipla** (terra, ar, fogo e ar) e mais dois **princípios-força** causadores de movimento: Éris (separação) e Philia (união).

A cosmologia de Empédocles vê o Universo como composto de ciclos periódicos de máxima unidade e de máxima multiplicidade. Na máxima unidade temos o Ser eleático (que detalharemos a seguir), o qual logo começa a desagregar-se com a ação de Éris. Aí entra o eterno vir-a-ser heraclítico. Quando Éris chega ao máximo, inicia-se novamente a ação de Philia (força unificadora).

Para Empédocles, a combinação dos elementos "físicos" explicaria a multiplicidade. Sua concepção de movimento, como ressalta LARA (1989: P. 70) tem ora caráter teleológico-finalístico, ora caráter mecanístico. Por conseguinte, temos aqui pela primeira vez a idéia de uma dupla camada causal – a qual vimos anteriormente que comparece na física moderna implicada na idéia de entropia.

Para **Anaxágoras** de Clazômena (final de V a.c.), a matéria é infinitamente divisível e, portanto, densa. O conceito-chave de sua filosofia é a idéia de '**Nous'**, que corresponde a um princípio mental presente em todas as coisas, base de uma concepção idealista-objetiva.

A origem do eterno devir das coisas, segundo ANAXÁGORAS, estaria no 'Nous': "Há muitas partes de muitas coisas. Mas nenhuma coisa é completamente separada ou distinta de nenhuma outra coisa, exceto o espírito ... E quando o espírito começou o movimento, separou-se de tudo que era posto em movimento; e tudo o que o espírito pôs em movimento foi separado" (APUD LARA, 1989: p. 73).

Com isso, Anaxágoras 'radicaliza' no monismo. Para ele, a única diferença entre coisas e seres humanos situava-se na estrutura corpórea deste últimos, já que ambos possuíam 'Nous'. Essa concepção foi muito combatida pelos defensores da sociedade escravagista, que consideravam o pensamento a única coisa humana e abominavam o trabalho corporal.

Apesar de Platão e Aristóteles considerarem o Nous um corpo estranho na obra essencialmente materialista de Anaxágoras, essa noção parece seguir Empédocles na inauguração da causação teleológica como distinta da causalidade mecanística. O devir de Anaxágoras não é mecânico (contingente), como o dos atomistas, mas teleológico-necessário; é regra, não exceção.

Como Heráclito e Empédocles, Anaxágoras também pensa **unidade e multiplicidade** como momentos de uma mesma realidade. A physis é para ele um fluxo dinâmico de infinitas partículas chamadas **spérmata**. A realidade constitui-se em um **contínuo** divisível ao infinito. Não há, portanto, no pensamento deste filósofo, qualquer oposição entre Ser e não-Ser – oposição tão cara ao pensamento eleático, como veremos.

A segunda escola filosófica do período pré-socrático é a **Pitagórica** ou Itálica (pois situava-se na Península Itálica). Para os membros desta escola, a noção de Harmonia constituía-se em categoria central; ela exprimia as idéias correlacionadas de ordem, mensurabilidade e relações quantitativas.

Os pitagóricos herdaram o ascetismo dos dóricos, cuja cultura vingou mais em Esparta que em Atenas. **Pitágoras** (VI a.c.), principal representante dessa corrente, de teor notavelmente racionalista, afirmava ser o **Número** a essência do Universo. Com isso firmava-se pela primeira vez uma physis abstrata, quantitativa. Não à toa, são devidas aos itálicos as primeiras noções de matemática formal.

A afirmação do número como propriedade geral do Ser permitiu a Pitágoras dar resposta ao problema da multiplicidade na unidade, problema já antes tratado pelos jônios. Para os pitagóricos, a unidade corresponde ao infinito, mas, como tal, é também finita, determinada, pois pode passar a uma outra unidade. Par torna-se ímpar e ímpar par, movimento que corresponde ao do Ser. Com isso, Pitágoras introduzia a **contradição** como fundamento do movimento, idéia antes encontrada em Heráclito e que teria importante papel no pensamento filosófico posterior.

É importante notar porém que, como alerta Hegel, a mudança em Pitágoras, ao contrário daquela de Heráclito, tem caráter essencialmente gradualista, quantitativo, e não propriamente qualitativo. Também ENGELS observa a respeito de Pitágoras, com muita perspicácia, que "Nada parece mais simples que a unidade quantitativa; e, no entanto, nada é mais múltiplo do que ela" (1979: p. 192). Engels observa em seguida que a unidade numérica contém em si o caráter dialético da oposição unidade/multiplicidade.

Com o pitagorismo começa a estruturar-se o pensamento puro em prejuízo do sensível, processo que se radicaliza com os eleáticos. O próprio ascetismo, cultivado pelos pitagóricos, tem muito de seu conteúdo "assentado na desconfiança no sensível" (LARA, 1989: p. 60). Por essa audácia em aniquilar o sensorial colocando em seu lugar o Número, isto é, a pura determinação do pensamento, Pitágoras é bastante aplaudido por Hegel. Aristóteles, por outro lado, o censura porque, ao adotar como pressuposto o Número, Pitágoras deixava sem explicação a origem **qualitativa** do movimento, pressupondo as coisas como eternamente dadas sob esse aspecto.

Conforme observa inteligentemente LARA (1989: p. 60), apesar de sua concepção de espaço descontínuo – de caráter não-monista –, os pitagóricos persistem sob certo aspecto no monismo jônio, através da idéia da unidade numérica, a 'physis' pitagórica. De fato, aonde há 'physis' há em certa medida monismo. Além disso, a noção pitagórica de Harmonia guarda em si o sentido de Unidade.

A escola pitagórica morreu debatendo-se nas contradições entre sua Cosmologia – não-monista, que apontava um universo composto de partes descontínuas – e suas descobertas matemáticas, em particular o célebre 'teorema de Pitágoras', o qual, ao atestar a existência dos números irracionais, apontava para o caráter denso e infinito da matéria.

Contemporânea dos pitagóricos, a **escola eleática** (da região de Eléia) é a primeira a 'legitimar' o conhecimento por **critérios formais** – e não por critérios de correspondência com a realidade, como fizeram os jônios. Adversária maior dos jônios, a escola eleática foi motivada precisamente pela multiplicidade de opiniões da escola jônia a respeito da physis. Se com os jônios lançavam-se a Ontologia e, em menor medida, a Gnoseologia, com os eleáticos surgem a Lógica (enquanto preocupação, ainda inacabada, com a formalização do conhecimento) e algumas discussões metodológicas.

Parmênides (VI a.c.), o maior filósofo eleata, estabelece pela primeira vez na história do conhecimento o **princípio de identidade**: "O

que é, é o que é". Na perspectiva dos eleáticos o Não-ser não existe, sendo o puro nada; em virtude disso, o Ser é uno.

O Ser de Parmênides possui ainda as seguintes propriedades: identidade (o Ser é o que é), imperecibilidade (o Ser é eterno, não foi criado do não-Ser, como criam os jônios, e nem será destruído), finitude (o Ser é limitado, não é infinito), além de plenitude, continuidade, indivisibilidade e imobilidade.

Parmênides distingue a 'via da verdade' (o método racional-dedutivo) da 'via da opinião' (o método empírico-indutivo). A imutabilidade e a homogeneidade do Ser, princípios confirmados pela Razão, eram negados pela experiência empírica. A sacrificada era então esta última, rebaixada à categoria de conhecimento paracientífico, fundado no senso comum.

Com os eleáticos temos a primeira formulação bem delineada do **idealismo** e do formalismo. O pensamento sobrepõe-se à realidade, não aceitando a contradição e o movimento empiricamente perceptíveis.

Em certo sentido, o moderno princípio de conservação tem no Ser parmenídico um seu ancestral (a matéria sempre é). Mas há também uma profunda diferença entre ambos, pois o princípio de conservação afirma que a matéria sempre é apenas na medida em que muda, o que não é admitido pelos eleáticos, para quem o Ser é estático.

Zenão (V a.c.), o segundo eleático em importância, notorizou-se por criar paradoxos – os conhecidos '**paradoxos de Zenão**' – para mostrar que quaisquer concepções de movimento, contradição ou infinidade resultavam em impasses e absurdos lógicos.

Melisso (V a.c.), também eleático, tornou-se notório em sua militância teórica contra Empédocles e os pitagóricos. Estes últimos, apesar de igualmente idealistas, não concordavam com a radicalidade das opiniões dos eleatas, em particular com a idéia de que a multiplicidade simplesmente não existia, sendo mera ilusão dos sentidos.

LARA (1989: p. 66) comenta que Heráclito é tão racionalista quanto os eleáticos, pois também acredita que o conhecimento verdadeiro se

constrói a partir do **Logos** (Razão). Mas, ao contrário de Parmênides, o Logos de Heráclito deve assumir a contradição, não expurgá-la.

A última das escolas pré-socráticas é a **atomista**, que continua sob muitos aspectos (em particular sob o da aderência ao sensível) as elaborações dos jônios, chegando muitos a defender que Empédocles e Anaxágoras são na verdade filósofos atomistas.

Os principais filósofos atomistas, **Leucipo** de Mileto (V a.c.) e **Demócrito** de Abdera (V a IV a.c.), acreditavam, da mesma forma que Anaxágoras e ao contrário de Pitágoras, em um universo contínuo. Os atomistas reformaram a concepção pitagórica de espaço afirmando a existência do não-ser, um vazio contínuo no qual se moveriam os **átomos** (a = sem; tomos = pedaços), pequenas partículas descontínuas, homogêneas, infinitas e plenas (não-vazias). A physis era com isso concebida como o átomo.

A moderna noção de átomo guarda em relação à antiga uma diferença essencial. Enquanto que esta última engendra uma visão discretizante da matéria, aquela concebe o átomo apenas como "ponto nodal", patamar qualitativo da matéria, o qual supera partículas menores e é superado pela molécula (outro ponto nodal).

Contemporâneos dos últimos pré-socráticos, os **sofistas** inauguram com suas especulações o chamado "**período socrático**", expressão espiritual da crise da Pólis. A sofistica substitui as considerações cosmológicas dos pré-socráticos por reflexões antropológicas de cunho **cético e relativista**.

LARA (1989: p. 69) desenvolve a hipótese segundo a qual Empédocles, Anaxágoras e os atomistas buscavam na verdade conciliar Heráclito e os milesianos com os eleáticos, pois a contradição entre ambos abria brechas no racionalismo, brechas introduzidas pelo relativismo sofistico.

Com o advento da problemática antropológica através dos sofistas, a Gnoseologia surge mais bem definida. Ela já era sugerida pelo conflito entre jônios e eleáticos. Porém, não há como negar que o objeto preferido dos pré-socráticos é a Ontologia, não a Gnoseologia. A sofistica, por outro

lado, é a primeira a enunciar de modo claro a **problemática gnoseológica** da possibilidade do conhecimento, da verdade e do papel da linguagem. Alguns sofistas, como **Górgias** da Sicília (V a.c.), eram abertamente agnósticos. Outros, como **Protágoras** de Abdera (V a.c.), eram tão somente relativistas. A maioria deles questionava a infalibilidade da razão e dos sentidos, e principalmente a noção de Totalidade.

A base social da sofística está na vida urbana dos artesãos e comerciantes. Humanistas em essência, eles aniquilam as bases da religião pública, sustentáculo milenar da aristocracia aldeã.

Os mais fervorosos defensores da objetividade do conhecimento costumam ver nos sofistas um 'asco' filosófico. Porém, se os olharmos com certa tolerância epistemológica, perceberemos que o relativismo sofistico descortina uma nova perspectiva cultural, pois rompe com a idéia do princípio totalizante jônio, noção ainda um pouco impregnada de divindade.

Quando ergue-se de Atenas a voz de **Sócrates** (V-IV a.c.), as cidades-estado gregas já se encontram próximas do ápice de sua crise, cujo marco é a Guerra do Peloponeso entre as potências gregas.

Sócrates, firme combatente do sofismo, afirma que a razão não afasta o Homem da verdade, mas é antes instrumento de gradativa aproximação entre ambos. Sua filosofia, porém, possui um aspecto em comum com a sofistica: a continuidade das preocupações antropológicas em detrimento de problemas cosmológicos e ontológicos.

A superação do pensamento sofístico por Sócrates resulta na descoberta do **Conceito**, poderoso instrumento do conhecimento que supera a pluralidade de opiniões e sensações na unidade da Razão. Se as opiniões são contingentes, a Razão é universal.

Após os sofistas e Sócrates dois caminhos se abrem: o sensualismorelativismo, por um lado, e o racionalismo absoluto por outro. As chamadas **escolas socráticas menores** – cínica, cirenaica, megárica e élio-erétria – seguem o primeiro caminho, herdeiro direto da sofistica. Nessa perspectiva o Bem e a Razão teriam conteúdo mais existencial. O segundo e mais consequente caminho é seguido por Platão e Aristóteles, os dois maiores filósofos do período socrático.

Discípulo de Sócrates, **Platão** (V-IV a.c.) reflete sistematicamente sobre a totalidade da cultura grega. Sua **Teoria das Idéias** desfere no agnosticismo e no relativismo um profundo golpe. Platão consagra a perspectiva filosófica **metafísica**, que em sua obra aparece conjugada (não exatamente oposta) à dialética.

Conforme assinala LARA (1989: p. 102), o monismo jônio e eleático havia revelado tensões profundas entre a unidade e a multiplicidade. Essas tensões foram resolvidas de modo bastante razoável pelos atomistas, através de seu "pluralismo homogêneo". Platão seguiria, em relação a esse problema, um outro caminho: o do **dualismo**.

Sócrates havia estabelecido a universalidade do Conceito. Platão vai mais longe, perguntando-se sobre qual a raiz dessa universalidade. Para ele, a realidade do Conceito é a **Idéia**. Ou seja: o Conceito é subjetivo; a Idéia, na qual se fundamenta, objetiva. Platão, portanto, ataca o relativismo sofístico assentando o conhecimento sobre firmes **bases objetivas**. Como decorrência dessas concepções, para muitos comentadores Platão é em certa medida um realista.

Com efeito, na filosofia platônica o verdadeiro real é o puro racional, e a plenitude da inteligibilidade é a própria plenitude do Ser, sendo ambas a unidade absoluta. Essa mesma solução gnoseológica – fortemente embasada na noção de Totalidade – será bem mais tarde seguida por Hegel.

De fato, a radicalidade de Parmênides tornara a perspectiva racionalista um tanto estéril. Ele não possuía, como Platão, a clareza de própria Idéia estava sujeita à dialética uno/múltiplo, que repouso/movimento. Assim, enquanto que em Zenão a dialética tem sentido meramente retórico, em Platão tem sentido lógico, gnoseológico e, também, ontológico. Ela surge com força de dentro da concepção metafísica platônica, e, fazendo-lhe pensar as contradições uno/múltiplo, finito/infinito e repouso/movimento, permite-lhe livrar-se dos dilemas sofisticos e eleáticos. A dialética tem, em Platão, o caráter de um

movimento progressivo rumo ao absoluto, e, inversamente, deste ao relativo. Daí porque Hegel reconhece em Platão o fundador da dialética na acepção moderna.

Aristóteles de Stágiros (IV a.C.), discípulo de Platão, é o primeiro filósofo a conceber a noção de uma totalidade concreta. Sem abdicar da confiança grega na Razão, o filósofo macedônio coloca-se desde o início como **realista**. Seu objetivo é o de canalizar a Razão para a análise do concreto e do contingente.

Aristóteles, porém, não é um empirista no sentido moderno. Seu conceito de realidade liga-se à visão do fato como algo que transcende à própria faticidade, realizando-se em uma estrutura lógica superior.

Da mesma forma que Platão, Aristóteles crê que as condições do conhecimento são condições de existência da própria realidade. Como Platão, busca a profundidade do Ser através da contingência da percepção. Porém, ao contrário de Platão, não vê a menor necessidade em duplicar a realidade. Para ele, devemos pensar no concreto como tal, e não como manifestação sensível de um 'mundo de idéias'. Exatamente por isso o realismo aristotélico transcende o de Platão: pretende descobrir a essência não como realidade em si à parte da matéria, mas como coisa subjacente aos dados da percepção.

O Ser aristotélico é composto de **substância e acidente**. Essa é a condição para se pensar a permanência (ato) e a mudança (potência), fugindo dos dilemas sofísticos (que diziam ser incognoscível algo que é e não é) e eleáticos. Segundo sua teoria do **ato e potência**, uma coisa pode ser e não-ser, isto é, pode ser uma coisa em ato e outra em potência. Nessa perspectiva, o Não-ser faz-se tão real quanto o Ser.

Conseqüentemente, o **movimento** em Aristóteles não acontece do Ser ao Ser, mas do Ser potencial ao Ser atual. Dessa forma, ficava sanada uma debilidade apontada pelo próprio Aristóteles em relação ao pensamento anterior: a de ter explicado a essência das coisas (a "physis") sem no entanto explicar como se dá seu movimento. Ato e potência são, de fato, categorias para pensar a Totalidade e o movimento.

Além dos binômios substância/acidente e Ato/potência, Aristóteles utiliza ainda um outro: o par **forma** (unidade) e **matéria** (diversidade), que desenha uma concepção da matéria como a pura determinação. Todos esses binômios correspondem, em Aristóteles, a dimensões reais do Ser.

Há no Corpus Aristotelicum (conjunto da obra de Aristóteles), além do mundo da physis, o mundo das "inteligências puras", de conteúdo bastante diverso daquele encontrado no platonismo. As "inteligências puras" possuem, aqui, o caráter de leis. Elas movimentam os astros circularmente. No ápice desse movimento está o motor primeiro, algo como uma "potência ativa absoluta" (LARA, 1989: p. 134), sendo ativa por não depender de nada para atualizar-se.

O Motor Primeiro é um conceito de sabor platônico. Ele move tudo sem jamais se imiscuir no processo cósmico, pois caso contrário deixaria de ser potência para ser atual como ele. Elemento fundamental na cosmologia de Aristóteles, o motor primeiro tornaria-se um axioma milenar da visão de mundo medieval.

Contudo, há também sutis diferenças entre o platonismo e a idéia de 'motor primeiro'. Este último não se atualiza jamais, é pensamento de pensamento, move as coisas sem se preocupar com elas. É algo em si mecanístico, lógico, bem menos divino que a divindade de Platão.

LARA (1989: p. 134) observa sagazmente que, enquanto Platão está mais para a unidade, deixando um pouco sem sentido a pluralidade, a explicação energética (energéia = ato) de Aristóteles está mais para a pluralidade, deixando também um pouco vaga a unidade.

Aristóteles pensou tanto sobre a natureza do pensamento (Gnoseologia) quanto a respeito de sua estrutura (Lógica). O Conceito (ou Idéia) tem, para Aristóteles, realidade lógica e conteúdo extramental. O conteúdo do Conceito é essência imanente à própria coisa, sendo portanto essa essência o que há de mais real. A essência é a pura causa, a pura relação, o aspecto inteligível do Ser.

À atividade de ultrapassar os dados sensíveis atingindo a essência da própria coisa Aristóteles chamou "intuição intelectual", a qual ultrapassa a intuição sensível e percebe as grandes verdades que são as essências e os princípios (afirmações auto-evidentes).

A forma superior do conhecimento, acima da intuição intelectual, é o **raciocínio**. A forma do raciocínio é o **silogismo**, que pode ser dedutivo ou indutivo. A eficácia do silogismo dedutivo advém de a primeira premissa ter extensão maior que a segunda. Já o raciocínio indutivo, historicamente mais controverso, faz exatamente o contrário: parte de uma premissa de extensão menor que a subsequente. O método científico moderno é, conforme veremos, predominantemente indutivo.

A elaboração da **Lógica Aristotélica** visava o combate ao relativismo e a unificação de procedimentos metodológicos. Em Aristóteles, o **Princípio de Identidade** é colocado a serviço da experiência. Segundo LARA (1989: p. 143), a Lógica é, em Aristóteles, condição de objetividade do pensamento.

Com Aristóteles atinge o ápice a estruturação do tipo metafísico de interpretação da realidade. Quando nos abstemos de pensar qualquer Ser particular para pensar o Ser-em-si, estamos diante de uma preocupação metafísica. É nesse sentido que o motor primeiro é uma realidade metafísica. À **metafísica** como ciência da identidade e do uno contrapõese a **dialética**, ciência que vê, no absoluto, as contradições inerentes ao real.

A reflexão grega sobre a relação entre categorias elementares do entendimento – como uno/múltiplo, identidade/contradição, repouso/movimento e absoluto/relativo – revela o esforço inicial para fundar em bases objetivas o conhecimento racional. É de inestimável valor o legado da filosofia grega para o debate sobre a natureza do conhecimento.

As especulações dos gregos permanecem sob diversos aspectos atuais, tendo muitas delas se tornado recorrentes na história da filosofia. Certas noções, como o princípio de identidade ou o 'motor primeiro', ganharam mesmo a força de verdadeiros dogmas, com sagrada aparência de perenidade.

Por outro lado, conforme veremos a seguir, a reflexão sistemática dos gregos tem também servido, quando menos, de inesgotável fonte de inspiração para as diversas tentativas de generalização do imenso material acumulado pela Ciência Moderna.

2. Primórdios da Noção de Objetividade na Ciência Moderna

"O materialismo é filho da Inglaterra" – pronuncia solenemente Marx no início de "A Sagrada Família". Com efeito, a maioria das concepções científicas contemporâneas desenvolveu-se junto ao reflorescimento do comércio e da urbanização, processo cujos primórdios podemos identificar já no século XII, mas que conhece seu ápice apenas no século XV. A Ciência Natural conhecia nessa época rápidos progressos, que traziam consigo possibilidades nunca dantes imaginadas.

O enorme avanço das cidades, do comércio e das forças produtivas em geral (incluindo-se aí a Ciência da Natureza) exigia a constituição de uma nova visão de mundo, a qual desenvolvia-se aos poucos revelando contornos nitidamente materialistas.

Esse nascente **materialismo** – que seria mais tarde chamado de "mecânico" – era então inteiramente revolucionário. Ele construiu-se em grande parte na polêmica com a **escolástica medieval**, que seguia como sólido arcabouço ideológico da Igreja. O sistema de idéias da escolástica – firmemente assentado no platonismo conjungado à teoria aristotélica do motor primeiro – constitui-se em uma das mais duradouras e arraigadas visões de mundo já conhecidas pelo homem.

A polêmica entre esse nascente materialismo e a escolástica medieval desenvolveu-se a partir de distintas tradições nacionais. Seguiremos as duas principais: a **britânica** e a **francesa**. Buscaremos expor a partir delas uma interessante trajetória de pensamento, a qual vai do surgimento do materialismo mecânico até o empirismo crítico de Kant. Essa trajetória assume, na França, a forma da transição do cartesianismo para a Fenomenologia, e, na Inglaterra, o formato da transformação do empirismo clássico em empireocriticismo.

Comecemos então pelo final do século XII, quando inicia-se um movimento de revisão do pensamento escolástico, pensamento até então centrado na figura de **Santo Agostinho**. Já se processava, nessa época, a decadência do Império Bizantino, o que proporcionava enorme afluxo de intelectuais daquela região em direção à Itália e outros centros da Europa Ocidental.

Junto aos intelectuais de Bizâncio migravam textos de Aristóteles e de seus comentaristas judeus e árabes, que iriam se constituir em objeto de investigação nos séculos XIII, XIV e XV. Novas versões das obras de Platão e Aristóteles eram com isso divulgadas e comparadas às versões oficiais compiladas pela Igreja. Esses fatos indicam o início da chamada "Alta Escolástica", marcada pelo desenvolvimento de temas da escolástica anterior (questões lógicas, lingüísticas e gnoseológicas), pela incorporação de elaborações do pensamento aristotélico (em particular de sua "física") e pela construção das maiores e mais importantes sumas teológico-filosóficas.

ENGELS detalha bem as conseqüências desse período ao assinalar que "Nos manuscritos encontrados depois da queda de Bizâncio e nas estátuas antigas descobertas em escavações feitas nas ruínas de Roma, desvendou-se aos olhos do Ocidente assombrado um verdadeiro mundo novo: a antigüidade grega. Diante de suas luminosas figuras desapareciam os fantasmas da Idade Média" (1979: p. 15).

O século XIII é marcado pela edificação da doutrina de **São Tomás de Aquino**. Nascido em Nápoles, Aquino estudou em Paris e em Colônia com seu mestre **Santo Alberto Magno**, a quem se atribui tê-lo iniciado no movimento de aristotelização da escolástica medieval. A doutrina tomista caracterizava-se pela pretensão em associar - não sem algumas críticas ao "corpus aristotelicum" - as filosofias de Santo Agostinho e de Aristóteles.

Não foram poucas as correntes e os pensadores críticos dessa iniciativa. **São Boaventura** (1221-1274), que via a Razão como um estágio do desenvolvimento do Homem em direção à contemplação de Deus, criticava a autonomia filosófica e as supostas evidências do sistema de Aristóteles. No mesmo sentido ia a crítica de **Siger de Brabant**, que viveu

na segunda metade do século XIII negando que a Razão pudesse ser independente da Fé. Ambos apoiavam-se em **Avicena** (980-1036), que empenhara-se bem antes disso em emprestar a Aristóteles interpretações neoplatônicas, argumentando ter ele apenas aprofundado o conhecimento sobre as coisas sensíveis, o que não teria sido feito por Platão.

Tomás de Aquino e, antes, seu mestre Alberto Magno, foram mais sagazes: perceberam que a negação de Aristóteles conduzia a uma sua forçosa e inevitável introdução no seio da escolástica, como um corpo nocivo e indesejável. Alberto Magno já tinha suas atenções voltadas para a Filosofia da Natureza, o que pode tê-lo ajudado em sua aproximação com a parte física do sistema aristotélico.

Os objetivos ideológicos do tomismo, portanto, apesar de conservadores do ponto de vista do avanço do conhecimento científico (já que não pretendiam ir contra o agostinismo, mas apenas submetê-lo a uma reforma necessária), acabaram por desempenhar um papel progressista; não só porque o tomismo representava um amadurecimento da razão medieval, mas também, e fundamentalmente, porque alargava o horizonte intelectual de sua época através do estudo da filosofia de Aristóteles.

Os problemas mais importantes sobre os quais versa o sistema de Aquino são o problema da **relação entre Razão e Fé**, a questão da **existência de Deus**, o problema gnoseológico dos **universais** e o problema da **unidade do intelecto**.

O primeiro tema é o de maior relevância na obra tomista, visto que sua incompreensão poderia levar a uma racionalização da fé ou ao total irracionalismo. Tomás de Aquino vê a Fé e a Razão numa unidade onde não há tensões; Razão e Revelação são esferas subjacentes. Não obstante sejam distintas, não há contradição entre elas, porque não há contradição entre a verdade do Homem e a revelação de Deus. Ao contrário, o princípio tomista da analogia do ser faz a ligação entre o ser do Homem e o ser de Deus, princípio que torna possível a apreensão da verdade divina pelo Homem, por via da Revelação. "Se a Razão se move, livremente, dentro do terreno da Filosofia, a unidade da verdade exige que nada do que a Razão

pretende saber seja contrário ao dogma estabelecido... por isso a Razão deve penetrar até onde seja possível no dogma, mas, ao mesmo tempo, partir dele para desenvolvê-lo e esclarecê-lo" (VITA, 1968: p. 34).

Aquino só crê na contradição entre Razão e Fé no caso de perversão da primeira, pois não há hiato na verdade, que é una. A razão, dessa forma, é posta a serviço da Fé, pois só crendo é possível compreender. "A síntese da Razão e da Fé não tem de ser imaginada nem discutida, mas apenas "codificada" rigorosamente" (VITA, 1968: p. 34).

Surge precisamente aqui a preocupação com questões **lógico- gramaticais** que marca tanto a Alta Escolástica quanto as correntes de inspiração aristotélica do período de decadência do pensamento escolástico (scotismo e ockamismo).

No que diz respeito ao problema da existência de Deus, ele se constitui no principal ponto de alinhamento do tomismo com a fisica de Aristóteles. Sabe-se que a compreensão aristótelica de Deus é diversa daquela exercitada pelos platônicos. Enquanto estes partem de uma realidade de idéias, acreditando poder captar Deus por via da intuição, Aristóteles não alimenta tal fantasia. Entendendo que todo conhecimento humano parte dos sentidos e que as idéias universais não possuem existência concreta, ele nega que o Homem possa ter uma idéia racional de Deus, ser que não existe no mundo sensível. O máximo a que pode chegar a compreensão humana é o entendimento ainda difuso de Deus como "motor primeiro" de todas as coisas, ou seja, como causa primordial do movimento que existe concretamente. Em Aristóteles, Deus não é mais que o princípio racional do Universo.

A teoria aristotélica do motor primeiro constitui-se na base de sua física. É justamente este o princípio que será liquidado pela **oposição teológica ao tomismo**, cujos líderes, os britânicos **Dunas Escoto** e **Guilherme de Ockam**, também partiam de fundamentação aristotélica. A oposição teológica ao tomismo construiu-se como uma corrente que, por dentro da própria Teologia, questionava os pilares fundamentais da ideologia religiosa. Já ENGELS (1982) nos asseverava que, até o umbral

das revoluções burguesas do século XVIII, a única forma conhecida de Ideologia era a religiosa.

Criticado por Escoto e Ockam, o princípio fantástico de um motor primeiro não resistiria por muito mais tempo, fulminado com o objetivo de dar lugar às primeiras formulações de uma **mecânica celeste**. De fato, as bases do que ficaria conhecido como mecânica newtoniana já eram lançadas em plenos séculos XIII e XIV. **Jean Buridan**, que fora reitor da Universidade de Paris, enunciava rusticamente o princípio de inércia. **Nicolau Oresme** antecipava o sistema de coordenadas cartesianas. **Henrique de Hainbuch**, reitor da Universidade de Viena, escrevia sobre o tema da Astronomia, enquanto **Alberto de Saxe**, reitor da Universidade de Paris, fazia estudos sobre a gravitação. Todas essas descobertas impulsionam o combate à física aristotélica e, em conseqüência, ao tomismo, fato que ocasionaria nada menos que a demolição da escolástica medieval.

O scotismo e seu posterior desenvolvimento, o ockamismo, surgem portanto como um movimento teológico de oposição ao tomismo e ao neoplatonismo. Não é estranho que essas duas correntes sejam combatidas com igual furor. Na verdade, as obras dos Santos Alberto Magno e Tomás de Aquino, mesmo com os aspectos positivos de alargamento cultural que possam ter, constroem-se na verdade no quadro mais geral da reação neoplatônica. Portanto, talvez não seja tão preciso classificar como plenamente aristotélico o sistema tomista, pois, em essência, o intuito de Aquino não difere do de um Averróis, por exemplo. A diferença está em que o primeiro subordina Aristóteles a Agostinho aproveitando a mais platônica das heranças legadas pelo aristotelismo: o princípio do motor primeiro; enquanto que o segundo, menos sagaz, interpretar Aristóteles explicitamente prefere apenas de forma neoplatônica.

Com **Dunas Escoto** (1266 - 1308), portanto, iniciava-se uma nova etapa no pensamento escolástico, que culminaria em sua destruição. A corrente scotista, que se difundiu bastante na irmandade franciscana

(verdadeiro partido católico de feições progressistas), possuía conteúdo radicalmente aristotélico e voltava-se para o combate enfurecido dos princípios platônicos e da proposta tomista. Suas bases já haviam sido lançadas na França do século XII por **Pedro Abelardo** em sua contenda intelectual com **São Bernardo**. O surgimento de Dunas Escoto representa o início de um movimento de ruptura da teologia inglesa com as elaborações da teologia francesa, italiana e ibérica, ruptura esta que se concretizará politicamente com os acontecimentos da **Reforma Protestante**.

Dunas Escoto rompe com o tomismo a partir de suas reflexões sobre as relações entre Fé e Razão e entre intelecto e vontade, que conferem caráter histórico à visão cristã do Universo. Para Escoto "criação, encarnação, imputação dos méritos de Cristo são, da parte, atos livres no sentido pleno da palavra, isto é, que poderiam não haver sucedido e dependem da iniciativa de Deus, que não têm outras razões que sua própria vontade" (BRÈHIER, 1977-78: p. 176).

Esse **voluntarismo** de Escoto, que coloca a inteligência tanto de Deus como do Homem em função de suas vontades, acaba por desaguar em um **divórcio entre Razão e Fé** sem precedentes na história da Teologia. Porque, se Deus não baseia seus atos no entendimento racional, mas em sua vontade, torna-se inútil tentar compreender racionalmente as verdade divinas, que são puros objetos de fé. Tais objetos poderiam inclusive não existir, se o Pai assim o quisesse. Deus, é evidente, não é uma força desordenada que age no mais puramente livre dos arbítrios. Ele possui entendimento racional, ainda que este esteja submetido à sua vontade, que é racional mas é também livre.

Assim, muitas questões de fé que no tomismo podem ser investigadas racionalmente, como a da origem e natureza de Deus, em Escoto já não podem. Nesse ponto este último resgata Agostinho, mas agora com intuito oposto: Deus não é para ser conhecido, mas para ser acreditado e amado. O conhecimento serve para a **compreensão do mundo**, não de Deus. A Filosofia vai com isso abrindo espaço para as Ciências da Natureza, que já então se desenvolvem.

Além de considerar em separado as noções de vontade e entendimento, bem como as de Razão e Fé, Dunas Escoto opera também o isolamento das idéias de intelecto possível e agente e de universal e individual, além de conceber de forma diferenciada a relação entre **matéria e forma**. Neste último caso, nega o Agostinismo, que afirma que a matéria possui um princípio racional interno que a faz aspirar à forma, e também ao tomismo, que diz que a matéria não possui existência em ato sem uma dada forma. Escoto afirma, já prenunciando o nominalismo de Ockam, que, dado que a idéia existe apartada da matéria e é posterior a ela (ainda que esta última seja criada por Deus), **a matéria possui existência atual**, e, portanto, subordina sua forma. Isso não é senão um materialismo dos mais velados.

Quanto à **questão do intelecto**, Escoto entende que "o papel próprio do intelecto agente é o de separar a forma específica da imagem sensível, onde está em potência; mas o do intelecto possível é o de compreender a causa total desse ato" (BRÈHIER, 1977-78: p. 179). O scotismo vê como autônomos os intelectos agente e possível, ainda que do primeiro, que está dentro dos limites do conhecimento imediato, decorra o segundo, que é o conhecimento abstrativo, mediato. O objetivo de Dunas Escoto com essa teorização sobre o intelecto é o de negar a concepção agostiniana segundo a qual a experiência sensível não joga papel no conhecimento, vindo este último de uma iluminação divina na mente do sujeito. Para Escoto, a raiz do conhecimento não está em outro lugar que não na **experiência**.

Finalmente, na famosa **questão dos universais**, Dunas Escoto nega a compreensão tomista que via no individual mera forma contigente do genérico. É aí que se introduz o ponto de partida do nominalismo de Ockam, justamente quando Escoto vê os corpos individuais como realidades em si, sem que as qualidades comuns a esses corpos, ou seja, os universais, sejam concebidos senão como um esforço de abstração da mente humana. O individual não parte do universal, mas, ao contrário, este é que é inferido da existência concreta daquele. Por certo não é mera coincidência a semelhança entre esse entendimento scotista e o

individualismo metodológico que perpassa a época moderna, de Bacon a Kant.

As teses de Dunas Escoto têm seu desenvolvimento mais inventivo e original na obra de **Guilherme de Ockam** (1280 - 1350), de quem podemos dizer que é o responsável mais direto pelo triunfo inapelável da corrente scotista. A ele se atribui a liderança da oposição teológica ao tomismo. As pretensões político-ideológicas de Ockam têm base na luta dos feudais leigos contra as aspirações do Vaticano no sentido da dominação mundial da Igreja Católica. Vale lembrar que **Martinho Lutero** foi iniciado no ockamismo por obra direta de um discípulo de Ockam, Gabriel Biel. É também na existência de Ockam que se pode situar o nascimento da chamada Escola de Oxford, de caráter empírico, cujo ápice será alcançado no século XVIII, com Berkeley, Hume e Kant.

Ockam aprofunda a tendência gnoseológica contida em germe já em Dunas Escoto: o nominalismo. Para o ockamismo,

o universal não provém do espírito, a não ser por certa maneira de considerar a imagem sensível, não se levando em conta o que nela há de individual... Por conseguinte, é falso o problema (tomista) da individuação, que supõe existir a espécie antes do indivíduo, posto que se pergunta por aquilo que a individualiza. Ora, nada existe, a não ser o individual, que é o primeiro objeto do conhecimento. (BRÈHIER, 1977-78: p. 184)

A argumentação de Ockam contra a existência dos universais é visivelmente herdada de Aristóteles em sua contenda com a doutrina idealista de Platão. Os ockamistas - bem como os scotistas - assumem de forma intransigente a defesa da gnoseologia aristotélica, no tempo mesmo em que negam o princípio do motor primeiro - base da física de Aristóteles - com o objetivo de substituir "a mitologia das inteligências motrizes por uma mecânica celeste, com princípios idênticos aos da mecânica terrestre" (BRÉHIER, 1977-78: p. 189). Assim como desvinculam Razão de Fé, ockamismo e scotismo contribuem também para o desvinculamento - tão necessário ao desenvolvimento das Ciências Naturais - entre a visão transcendental, metafísica, do Universo, e a física da Natureza. O tomismo, vale notar, admitia também a gnoseologia de Aristóteles, mas, se

o fazia, era com o objetivo maior de chegar à sua física e transformá-la na concepção cristã oficial do Universo.

Guilherme de Ockam é quem inaugura uma tradição de pensamento que se estenderá até Kant, sendo ainda hoje hegemônica no pensamento ocidental. Ockam, ao negar que as idéias universais se situam nas coisas ou nas palavras em si, afirma logo em seguida que elas se situam nas palavras enquanto unidades de significação convencionadas, instituídas. Com isso, o nominalismo ockamista retoma a filosofia de Pedro Abelardo e substitui a questão da natureza dos universais pelo problema do correto uso no conhecimento. Inicia-se assim a preocupação com a **formalização do conhecimento** que marcará todo o desenvolvimento da Escola de Oxford e alcançará o máximo de sua elaboração na obra kantiana. Ainda em nosso século essas preocupações lógicas se constituem em objeto da maioria das discussões sobre o conhecimento científico.

A reação ao nominalismo seria forte e de grande amplitude. A partir de meados do século XIV começam a se desenvolver uma série de doutrinas céticas, agnósticas ou metafísicas que se estenderiam até o século XVII. Não por coincidência, um dos primeiros países onde ocorre essa reação é a então atrasadíssima Alemanha. Lá, o frei dominicano **Jonh Eckhart** (1260 - 1327) cria uma doutrina mística de inspiração platônica caracterizada pelo uso da linguagem literária. Seu objetivo: a condução da alma à preparação, através da purgação e do isolamento, para o encontro com Deus. Para Eckhart, é inútil especular acerca do divino. Deve-se substituir o conhecimento, o "logos", pelo amor, como já o dissera Plotino. É nessa doutrina mística que se situa, não por acaso, a gênese da chamada filosofia alemã, cujo ápice se daria no século XIX, com Hegel.

O advento da reação ao nominalismo divide os ambientes científicos: de um lado as universidades, que serviam de refúgio para o desenvolvimento das "artes liberais"; de outro, os mosteiros e conventos, onde se ensinavam as concepções oficiais da Igreja.

Nos séculos XV, XVI e até o início do século XVII ganha muita força o ceticismo renascentista, cujos adeptos trabalhavam dentro e fora das universidades versando sobre temas relativos ao método e à formalização do conhecimento. Corrente típica de períodos de crise, o ceticismo da Renascença voltava-se contra os avanços metodológicos alcançados pelas "autoridades" da Ciência e da Filosofia, fossem elas Aristóteles ou os nominalistas. O primeiro dos céticos mais notáveis foi **Erasmo Desidério**, dos Países Baixos, e, os últimos, **Charron** e o português **Francisco Sanchez**. Este último pregava um "exame direto das coisas", sem submetê-las a modelos ou teorias criadas por outrem.

De Descartes o cepticismo conheceu, no século XVII, crítica tão contundente e feroz que não mais teve condições de se soerguer. Veremos pouco mais à frente como isso se deu.

Antes, porém, surgia na Inglaterra o empirismo de **Francis Bacon** (1561 - 1626), fruto do desenvolvimento científico da Escola de Oxford. É também nessa época que se inscreve a existência do físico italiano **Galileu Galilei** (1564 - 1642). Ambos, Bacon e Galilei, são peças fundamentais para a compreensão da proposta herdada do nominalismo de aliança entre a experiência sensível e a linguagem formalizada da Ciência.

Galileu Galilei defendeu e desenvolveu a teoria heliocentrista de **Nicolau Copérnico** (1473 - 1543). É considerado o fundador da moderna Ciência da Natureza. Professava que "a investigação natural não consistia numa simples recopilação dos dados sensíveis, mas numa ordenação deles pela razão matemática" (VITA, 1968: p. 48). Dizia GALILEI que "o livro da Natureza está escrito em língua matemática e suas letras são triângulos, círculos figuras geométricas, de maneira que sem elas não se pode entender uma única palavra" (APUD VITA, 1968: p. 48).

O intuito cartesiano de resgatar o ideal pitagórico da "essência matemática da Natureza" é seguido em Galilei, que, ao instaurar uma visão explicitamente matemática, quantitativa da Natureza, prossegue a preocupação nominalista com a formalização do raciocínio e a matematização do conhecimento científico. Galileu, aliás, pode ser considerado o responsável pela concretização dos dois elementos mais valiosos do nominalismo: a visão da natureza e o método da física. O modelo galileano de Ciência será tomado por Kant como parâmetro, na

medida em que inaugura a idéia da hipótese racional como ponto de partida da Ciência, colocando a experiência, conforme já havia feito Descartes, como a comprovação a posteriori do saber construído aprioristicamente pelo cientista. Galileu terá o conteúdo de sua elaboração desenvolvido pelos físicos do século XVII e XVIII, dentre eles **Sir Isaac Newton** (1642 - 1727).

Já a obra de Francis Bacon é, em resumo, uma primeira tentativa de sistematização do empirismo inglês. Em vida, Bacon demonstrou tanto preocupações políticas (foi eleito para a Câmara dos Comuns em 1584) quanto científicas. Ele abominava o conhecimento medieval, as sumas de inspiração aristotélica e propunha uma reforma radical do conhecimento científico. "Para Bacon o órgão apropriado para a investigação é, em verdade, a lógica metodológica da Ciência Natural, preconizando como meio principal o método da indução, que ... consiste ... numa combinação da observação com a atividade do entendimento" (VITA, 1968: p. 47).

Com efeito, Bacon não procura senão organizar alguns procedimentos técnicos e operacionais que vinham sendo utilizados no processo de desenvolvimento das Ciências da Natureza. Como bem acrescenta É. BRÉHIER (1977: p. 36), "o Novum Organum (principal obra de Bacon) é precisamente isto, e nada mais: um programa de Ciências da Natureza, com a parte lógica que a elas se refere".

A principal influência de Bacon é a do alquimista inglês **Roger Bacon** (1210 - 1278), que teria sido professor em Oxford. A alquimia se situa na aurora das Ciências Naturais e utiliza-se de procedimentos experimentais primitivos. É nela que Francis Bacon se inspira para desenvolver a concepção aristotélica de indução, que, em seu entendimento, passa a ser um conjunto de procedimentos progressivos de eliminação. Eliminação de aspectos do fenômeno que, para Bacon, são contingenciais e devem ser desprezados ou eliminados do exame científico. "A indução tende a eliminar, para encontrar a forma, tudo o que há de qualitativo, de propriamente sensível em nossa experiência. Pode-se se dizer, em certo sentido, que Bacon é mecanicista, uma vez que vê a

essência de cada coisa da Natureza em uma estrutura geométrica e mecânica permanente" (É.BRÈHIER, 1977: p. 41).

Contudo, ao contrário do que crêem os cientistas franceses e italianos de sua época, Bacon, apesar de admitir uma "estrutura matemática das coisas", desconfia das Ciências Matemáticas e quer colocá-las como servas da Física. Isso é fruto de sua visão de experiência, herdada da alquimia. Longe de ver a matemática como a **substância** da matéria (concepção quase pitagórica), ele a concebe apenas como a linguagem da Ciência. Também em decorrência disso não crê na mais célebre das teorias que se desenham em sua época, a das **hipóteses a priori**. É o empirista em estado puro: para ele o conhecimento está nas coisas, e o Homem deve, isolando-se, buscar nelas os resultados da pesquisa, utilizando os oito "procedimentos de experimentação" que ele propõe. Os resultados da investigação não vêm antes da experimentação, como propõem Descartes e Galileu e decretará Kant, mas, ao contrário, decorrem dela e só com ela podem ser extraídos.

O pensamento de Bacon, que se torna o maior ponto de referência para a tradição mecanicista que se desenvolve em especial na Inglaterra, é mais tarde desenvolvido por John Locke, que fornece versão mais consistente do empirismo baconiano. Essa corrente gnoseológica rivaliza praticamente durante toda a Idade Moderna com o materialismo francês. Ambas as correntes têm início justamente com Escoto, Ockam e Pedro Abelardo, cujas visões representam o ponto de partida da Ciência Natural e o fim da cosmologia aristotélica, na medida em que convertem o conhecimento "de coisas... em conhecimento de símbolos, instituindo o pensar matemático" (VITA, 1968: p. 46).

De fato, há duas coisas que ganham relevo com o nominalismo: a formalização da linguagem científica e a experiência. É à experiência que o empirismo inglês dá relevo, ao passo que seu êmulo, o materialismo francês (e também o italiano) confere mais destaque ao primeiro componente que citamos: a estrutura organizativa do raciocínio e da linguagem.

Esse segundo caminho, de cunho racional-dedutivo, tem no nome de Descartes seu maior ponto nodal. Vejamos como se desenvolveu, no debate com o empirismo britânico, essa segunda tradição materialista, a **francesa**.

Vimos acima que o século XVI foi profundamente marcado pela crise do edificio político, científico e filosófico da Igreja, crise esta manifestada em acontecimentos como a Reforma Religiosa, os quais atestam a agonia definitiva do modo de produção feudal e da direção política da Igreja.

Às portas do século XVII o cenário intelectual europeu encontravase inteiramente hegemonizado pelo ceticismo, tão bem representado nas obras de **Agripa de Netteschein** (1487 - 1535), de **Francisco Sanchez** (1552 - 1631) e de **Michel de Montaigne** (1533 - 92). Esse ceticismo era o mesmo ao qual nos referimos acima, como uma reação ao nominalismo

Não há dúvidas de que o ceticismo é peça-chave no quadro de decomposição do pensamento medieval, cujos alicerces - a filosofia grega do período socrático e as obras de Santo Agostinho - começavam a ruir diante do desenvolvimento do capitalismo comercial, que trazia consigo o avanço da Ciência, da técnica e da urbanização. O clima de incerteza e de grandes dúvidas tomava conta dos centros de produção do conhecimento dessa época, como reflexo, no terreno no pensamento, dessa época de crise.

O arcabouço científico que se desenvolveria ao longo da Idade Moderna, se pode ter seus primórdios situados na contenda com a escolástica, passa no entanto por um momento crítico no início do século XVII, quando vê-se diante de um adversário ainda mais forte que a decadente escolástica: o ceticismo.

Nascido em La Haye, filho de burgueses que se dedicavam ao comércio e à administração das terras de sua propriedade, **René Descartes** teve Luís XIII à frente do cenário político de sua época (1610 - 1643). O governo desse monarca foi caracterizado por ações de apoio e sustentação à burguesia, ações estas que, porém, não pretendiam entregar aos burgueses o poder, mas apenas usá-los contra a nobreza no sentido de fortalecer a monarquia. Ou seja: a burguesia não era ainda (ao

contrário do caso da Inglaterra) uma classe suficientemente forte politicamente, o que em certa medida explica o estágio atrasado da França de então, que dificilmente poderia desenvolver sua Ciência e sua Filosofia de forma alheia à vontade e ao financiamento da classe burguesa.

Descartes é sem dúvida o nome mais notável no contexto do combate ao ceticismo e do erguimento das vigas-mestras da primeira Revolução Técnico-Científica. Seu objetivo manifesto: construir os alicerces sobre os quais se apoiaria todo o novo edificio da Razão. E ele inicia essa tarefa pela própria dúvida, tomada de empréstimo aos céticos com outra conotação: aqui a dúvida é o próprio instrumento da Ciência, e só se a supera quando se a perpassa esgotando-lhe em todas as direções. Para DESCARTES, a dúvida deve-se ser exacerbada até o ponto em que se duvide da própria dúvida. Nesse ponto extremo, a incerteza quase máxima dá lugar a uma dose mínima de certeza.

... resolvi fazer de conta que todas as coisas que até então haviam entrado no meu espírito não eram mais verdadeiras que as ilusões de meus sonhos. Mas, logo em seguida, adverti que, enquanto eu queria assim pensar que tudo era falso, cumpria necessariamente que eu, que pensava, fosse alguma coisa. E, notando que esta verdade: eu **penso, logo existo**, era tão firme que todas as mais extravagantes suposições dos céticos não seriam capazes de a abalar, julguei que podia aceitá-la... como o primeiro princípio da Filosofia que procurava (grifo nosso). (1991: p. 7)

Eis portanto o fundamento aonde Descartes assentava a objetividade do conhecimento: a própria razão.

A grande filósofo francês percorre, conseqüentemente, um caminho inverso ao dos céticos: enquanto estes últimos partem da realidade e dela chegam à dúvida, ele parte da dúvida e, retirando dela certezas mínimas, chega então à realidade. A partir das primeiras certezas, surgidas da exacerbação da dúvida, Descartes infere outras certezas, e assim vai gradualmente decompondo a realidade através do puro encadeamento de raciocínios. Tudo começa com o "cogito": se duvido, penso, e daí devo invariavelmente concluir que existo. O "Penso, logo existo" inaugura uma nova etapa no desenvolvimento do pensamento, justamente por tratar de forma inovadora e eficaz da relação sujeito-objeto, fazendo a conexão entre

o objetivo e o subjetivo que os céticos, presos à subjetividade da incerteza, não conseguiram fazer. Na verdade, a própria concepção de relação sujeito-objeto de Descartes já é fruto de um avançado trabalho com as categorias dialéticas dúvida e certeza, que lhe proporciona excelentes resultados.

Diante da complexidade constante do conhecimento em seus desdobramentos, Descartes propõe que seu **método racional** seja operado através dos procedimentos de **análise** (dividir problemas em parcelas mínimas a serem solucionadas), de **síntese** (ordenação dos pensamentos, indo dos mais simples aos mais complexos) e de **enumeração** (enumerar dúvidas de forma que nada seja omitido).

O método racional de Descartes cria uma oposição (aliás, não foge da oposição) entre a contingência do mundo real e a generalidade das construções dedutivas. Descartes reconhece que a realidade, por ser complexa, dificilmente pode ser absorvida inteiramente por idéias. Existem princípios racionais que não se verificam empiricamente. Daí a concepção do **dualismo cartesiano** matéria/espírito. Descartes dá seqüência, nesse ponto, à tradição platônica. Prossegue também, acrescente-se, a tradição monista dos eleáticos, para os quais não há vazio na Natureza.

Foram bastante frutíferas as incursões cartesianas pelo terreno das ciências exatas e naturais. Descartes procurou desenvolver justamente os campos da Ciência e do Pensamento que a sabedoria escolástica só havia tido a preocupação de copiar dos gregos. Não obstante sua gnoseologia seja sabidamente racionalista, o Descartes cientista possuía forte apego com o experimentalismo.

No campo da Biologia as concepções cartesianas sobre o corpo foram profundamente influenciadas pelos avanços da Anatomia. Dentro de seu dualismo, o mecanismo do corpo está unido a um componente espiritual, que não é a alma escolástica (sensitiva ou vegetativa), mas uma alma dotada de alto teor de racionalidade (daí o Homem poder deduzir verdades a priori). As explicações mecânicas de Descartes acerca da respiração, da circulação sangüínea, do batimento cardíaco, etc., eliminaram a hipótese da alma vegetativa dos escolásticos.

Em suas incursões pela Matemática, Descartes viu-se no dever de levar avante a tarefa de Pitágoras: descobrir a estrutura numérica que se oculta na essência das coisas. É Descartes o responsável pela criação da **Geometria Analítica**, instrumental que tinha por finalidade superar o cálculo abstrato tanto da análise geométrica dos gregos quanto da álgebra contemporânea. A primeira estava restrita à imaginação de figuras e, a segunda, ao entendimento puramente numérico ("confuso" e "obscuro") das coisas.

Descartes supera a intuição matemática de Arquimedes não propriamente rompendo com ela, mas desvelando os próprios recursos utilizados na Grécia, desconhecidos ou conhecidos apenas intuitivamente pelos gregos. A filosofia cartesiana continua se valendo das formas geométricas, mas passa a vê-las como uma forma figurada das grandezas numéricas. É essa a idéia do Plano Cartesiano: as figuras são suportes dos cálculos. Daí porque Descartes prossegue (e aprofunda) a tradição Pitagórica, e faz questão de não se atribuir o mérito da Geometria Analítica, cuja criação teria cabido em verdade aos gregos. Descartes só a teria revelado e aos procedimentos utilizados em sua criação.

Também o moderno **princípio de conservação** encontra em Descartes um de seus precursores. Ele postulou a indestrutibilidade do movimento, mas apenas sob o aspecto puramente quantitativo. O princípio de conservação enunciado em 1842 é qualitativo.

O experimentalismo de Descartes, não obstante caminhasse em aliança com seu racionalismo, situa-se no quadro de uma mentalidade científica mecânica que, bem ou mal, marcou profundamente o desenvolvimento da Ciência nesse período. Descartes pode ser inserido no quadro mais geral do desenvolvimento das formulações da chamada "Escola de Oxford", que, conforme vimos, irrompe do seio da Idade Média com concepções gnoseológicas experimentalistas.

A filosofia cartesiana é em essência, podemos assim dizer, um **materialismo com peculiaridades francesas**. Enquanto que na Inglaterra o materialismo desenvolve-se colado ao empirismo, na França, pelo menos até às vésperas da Revolução Francesa, o materialismo

amadurece apoiado no racionalismo. Contudo, apesar das diferenças de tradição nacional, é para um só rumo que a Ciência e a Filosofia se encaminham nessa época: a primeira, para a Revolução Científica e Tecnológica do século XVII; a segunda, para o ápice da filosofia alemã nos séculos XVIII e XIX, que representa o supra-sumo das discussões ontológicas e gnoseológicas de até então. A principal contribuição cartesiana para o desenvolvimento da Ciência e do Pensamento não é senão a mesma dos materialistas ingleses da Escola de Oxford: ambos desligam a Filosofia da Teologia, revinculando-a à Ciência e atribuindo-lhe, portanto, papel fundamentalmente prático.

Mas, já à época de Descartes, no século XVII, como andava o materialismo empírico britânico? A Inglaterra dessa época encontrava-se às vésperas da Revolução Gloriosa. É nesse momento que irrompia o mais consequente dos pensadores materialistas ingleses: **Sir John Locke.**

Na infância de Locke, ainda no século XVI, a dinastia do Tudor, na Inglaterra, apesar de também possuir interesses próprios, expressava de forma magistral os interesses da burguesia inglesa. Essa dinastia contava com monarcas bastantes habilidosos politicamente, que tentavam encaixar suas exigências entre as da plebe, as da aristocracia e as da burguesia.

No começo do século XVII, porém, tem início a dinastia dos Stuart, monarcas inabilidosos que criaram muitos conflitos com o parlamento burguês. A burguesia dessa época, já suficientemente forte, não precisava mais do absolutismo para consolidar seus interesses. Dessa forma, com o acirramento da disputa (que aparecia sob a forma de conflitos religiosos) entre as classes da época - a aristocracia feudal e a burguesia -, os interesses da aristocracia, que vinham sendo concretizados pelos monarcas de Stuart, são submetidos aos da burguesia em 1689 na **Revolução Gloriosa**. Tal revolução coloca o poder nas mãos da Câmara dos Comuns, que o outorga a Guilherme de Orange, deixando claro que o poder daquele monarca era derivado do parlamento.

Percebe-se que já à época a burguesia não era homogênea: existiam disputas entre a classe mercantil, protegida pelos monopólios, e setores

que tentavam quebrar esses monopólios. Havia ainda camadas urbanas novas, comerciantes, empresários agrícolas, todas estas interessadas no desenvolvimento da indústria de transformação. Locke fazia parte desta terceira camada.

O currículo de Locke era bastante diversificado, abrangendo assuntos como a Química, a Meteorologia, a Teologia e a Filosofia. Foi assessor do conde de Shaftesbury, que era representante dos interesses do parlamento. Foi também amigo de Sir Isaac Newton, que compartilhava de suas concepções filosóficas. As principais obras de Locke, vale lembrar, foram publicadas logo após a Revolução Gloriosa.

Com Locke, o empirismo inglês alcança o máximo de seu refinamento e de sua elaboração desde o início do processo de decomposição da escolástica com Dunas Escoto no século XIII. Sua obra gnoseológica, o "Ensaio Acerca do Entendimento Humano", inicia-se com a contestação das doutrinas de Descartes e Leibniz, que afirmavam respectivamente a existência de "idéias inatas" e de "princípios práticos inatos". "Nem os princípios nem as idéias são inatas", afirmava Locke.

Segundo Locke, nenhum tipo de princípio ou conhecimento é inato, sendo todos adquiridos com a experiência. O próprio fato de existirem idéias de inatismo deve-se à descoberta de princípios gerais que não podem ser questionados logo que entendidos. Isso teria conduzido rapidamente à explicação inatista.

Locke, porém – apesar de dar um passo à frente em relação a Bacon e Hobbes –, não leva às últimas conseqüências seu empirismo, deixando claro em sua obra os limites e as insuficiências dessa concepção epistemológica. Para o empirismo lockesiano, as fontes do conhecimento são a **experiência** e a **reflexão**, instrumentos que suprem a mente da matéria e do objeto do conhecimento. Ele opera portanto uma sutil separação entre a sensação (experiência externa) e a reflexão (experiência interna), colocando-as como fontes de conhecimento independentes e inaugurando, portanto, uma espécie de gnoseologia empírico-dualista. O pensamento lockesiano, segundo ENGELS, "é filho do compromisso de classe de 1688", isto é, do compromisso (de divisão de poderes) entre a

burguesia e a nobreza, na época da "gloriosa revolução" (APUD IUDIN & ROSENTAL, 1959: p. 329).

De fato, se Bacon cultivava um empirismo tão otimista e ingênuo que chegava às raias da fantasia, Locke advoga, pelo contrário, um empirismo covarde, que não avança todas as conseqüências de suas premissas.

Locke vê a dimensão e o movimento como qualidades objetivas ("primárias"), e o som, o cheiro, o calor, etc., como qualidades subjetivas ("secundárias"). Ou seja: Locke distingue entre duas qualidades de matéria. As primárias são inseparáveis do corpo exterior à mente, e as secundárias são parte dos objetos como potências, manifestadas apenas em contato com o sujeito.

Reside aqui a grande contradição da filosofia de Locke, pois a divisão das qualidades em primárias (objetivas) e secundárias (subjetivas) contradiz explicitamente sua afirmação de base, segundo a qual "todo conhecimento advém da experiência". Fica aqui evidente o dualismo da filosofia de Locke, cuja parte materialista foi desenvolvida pelos materialistas franceses, dentre eles Diderot e Holbach, enquanto que a parte idealista foi herdada por Hume e Berkeley e desenvolvida na doutrina idealista subjetiva desses pensadores.

O pensar, no entender de Locke, é uma atividade que abarca todas as possíveis atividades cognoscíveis. Tendo em vista fornecer respostas a questões que só os inatistas julgavam ser capazes de responder, Locke criou a "classificação das idéias", ordenando-as segundo sua origem e segundo a matéria que captam. As contradições da filosofia de Locke – oriundas de sua tentativa de qualificar o empirismo, conciliando-o com o racionalismo – em muito se refletem na "classificação". Nela, o procedimento analítico lockesiano em muito lembra o de Kant na elaboração de sua filosofia crítica

A classificação começa pelas **idéias simples**, que podem ser de sensação (provindas do exterior), de reflexão (provindas da própria mente) ou mistas (provindas do exterior da mente, ainda que não possuam existência concreta fora dela). Quanto à representatividade das coisas

captadas pelas idéias simples, Locke distingue entre as "idéias simples enquanto percepções em nosso espírito" e as "idéias simples enquanto modificações da matéria nos corpos causadores de tais percepções".

O segundo tipo de idéia é para Locke o das **idéias compostas**, que surgem do agrupamento de idéias simples. São três os tipos de idéias compostas: as formadas por idéias simples agrupadas em uma única coisa (homem, ouro, etc); as formadas por idéias simples concatenadas por coordenação (relacionadas), como a idéia de filiação, por exemplo, e as compostas de modo misto (idéias simples consigo mesmas e com outras).

Os problemas que Locke pretendia explicar com sua teoria das idéias, apontando erros dos inatistas, eram basicamente três: as questões do infinito, da potência e da substância.

O **infinito** é para Locke a repartição das unidades homogêneas que compõem as idéias simples de número, duração e espaço. Distingue-se do finito porque tal repetição não tem fim. É falso, portanto, segundo Locke, conceber o infinito como sendo anterior ao finito, tal qual faziam os inatistas. Vemos aqui a seqüência clara das idéias nominalistas, para quem os universais derivam dos individuais, e não o contrário.

A **potência** é uma idéia composta de modo simples (ou seja, idéia simples que se repete a si mesma). É formada pela repetição da experiência de modificações comprovadas nas coisas sensíveis e no próprio Homem (essa 'repetição da experiência' será mais tarde chamada por Hume de "hábito"). Existem as idéias de potência ativa (causam modificação), como a vontade, e as idéias de potência passiva (que dizem respeito àquilo que sofre modificação). Essa concepção de potência atesta que Locke só concebe a forma mecânica de movimento, isto é, o movimento externo-contingente, não interno-necessário.

Na questão da **substância**, segundo Locke, o erro dos inatistas estava em que concebiam a substância como uma idéia simples, quando na verdade ela é uma idéia composta de modo misto (tanto de idéias simples consigo mesmas como com outras). Locke usa esse fato para defender o seu método experimental, já que conhecer a substância não é possível a partir dela própria, mas somente a partir de suas partes

componentes. Segue aqui portanto a tradição nominalista para a qual os universais não existem, mas apenas os particulares. Apesar de admitir a divisibilidade infinita das substâncias (tal qual já o fazia Anaxágoras), Locke não deixa jamais de postular sua **realidade**.

O "Ensaio Acerca do Entendimento Humano" aborda também o problema dos limites do conhecimento e de suas formas legítimas, problema que alcançaria em Kant o auge de sua elaboração.

Para Locke o conhecimento faz-se através de quatro ordens de vínculos ou conveniências, expressados por **juízos**: identidade ou diferença (A = B, A # B), relação (filiação, por exemplo), coexistência (AB, BC, etc.) e correspondência da idéia com o concreto.

Já as **fontes de certeza** com relação à existência concreta das coisas são de três tipos: certeza intuitiva (advinda da reflexão), certeza sensível e certeza demonstrativa da existência de Deus.

Para Locke, o conhecimento real provém da conveniência das idéias entre si e destas com a realidade (e não só das idéias entre si, como queriam os racionalistas). Essa preocupação com a formalização do conhecimento, que em Locke é bastante marcante, passará a Hume e Berkeley e, destes, a Kant.

Mas, até lá, tanto os descendentes do empirismo britânico quanto os do cartesianismo ainda teriam um longo caminho pela frente. Os franceses, às vésperas de sua revolução burguesa, trocariam de papel com os ingleses, "redescobrindo" Bacon, Hobbes e Locke, que já na Inglaterra se encontravam sepultados. Voltaire, Montesquieu, Rousseau, Holbach, Diderot e D'Alembert assumem, então, o papel de verdadeiros materialistas ingleses!

Enquanto isso, na Inglaterra, o nominalismo, que tanto progresso representara à época do combate ao tomismo, involui de Locke a **George Berkeley** (1685 - 1753) e **David Hume** (1711 - 1776). Estes dois últimos - afirmando que as coisas exteriores não são mais que idéias e sensações gestadas no interior da consciência subjetiva do Homem - transformam (ao nominalismo) em uma filosofia retrógrada e decadente, a nova cara do

empirismo inglês que, décadas após a Revolução Gloriosa, entra também em estado de irrefreável putrefação.

3. A Noção de Objetividade na Ciência Moderna

Conforme vimos anteriormente, a Ciência Natural é em seus primórdios inteiramente **revolucionária**, na medida em que rompe de forma materialista com o pensamento teológico. Porém, paradoxalmente, essa mesma Ciência Natural desenvolvia-se ligada a uma mentalidade **mecânica** e a uma concepção de natureza estática que se refletia no pensamento filosófico da época. Diz ENGELS:

O que realmente caracteriza esse período é a elaboração de uma peculiar concepção de conjunto, cujo centro era constituído pela noção de invariabilidade absoluta da Natureza ... Em contraste com a história da humanidade, que se desenvolve no tempo, prescreveu-se à história natural um desenvolvimento apenas no espaço ... A ciência natural, tão revolucionária a princípio, defrontou-se, de repente, com uma Natureza absolutamente conservadora. (1979: p. 18)

Passemos então a entender, a partir de agora, de que forma essa rígida e inflexível noção de objetividade, subjacente ao materialismo de tipo mecânico, entra irrefreavelmente em crise, sendo aos poucos substituída por uma nova concepção materialista da objetividade do conhecimento. Chamaremos aqui essa nova concepção de materialismo histórico, ou, simplesmente, de **materialismo moderno**.

As insuficiências e contradições do materialismo anterior já eram sugeridas pela filosofia de Locke. Ela atesta a dificuldade de se construir uma teoria materialista que, ao mesmo tempo, leve em conta a singularidade do pensamento. Aí sempre residiu historicamente o ponto fraco de todo o materialismo. Locke falha ao tentar superar essa dificuldade, caindo em uma espécie de **dualismo eclético**.

Em dualismo semelhante cairia Immanuel Kant. Em sua obra as deficiências e incapacidades do antigo materialismo alcançavam o auge, tornando-se como que 'fraturas expostas' da mentalidade mecânica do século XVIII.

Eminente personalidade da filosofia alemã do século XVIII, Immanuel Kant nasceu em 1724 em uma pequena cidade da Alemanha Oriental. Filho de uma humilde família de artesãos religiosos, herdou de seus pais uma boa educação e a retidão da conduta ética. Tornou-se na maturidade um grande estudioso das ciências e da filosofia, assuntos nos quais doutorou-se. Seguiu na maior parte da sua vida a carreira docente, atividade que só se encerrou já às vésperas da enfermidade que o levaria translúcido ao túmulo, em 1804.

Kant é sem dúvida o maior filósofo do século XVIII, ponto culminante do processo de desenvolvimento da Ciência e do Pensamento que tivera início no século XII. A obra kantiana é herdeira direta da dissolução do materialismo inglês na filosofia dos chamados empireocriticistas (dos quais Hume é o nome mais destacado), que haviam inaugurado a concepção do caráter **subjetivo** da experiência sensível, recebendo com isso críticas ferozes e eloqüentes dos representantes do materialismo francês.

Diante da contenda que se apresentava, entre os empiristas "críticos" ingleses e os materialistas da França, Kant propunha uma resolução definitiva do problema do conhecimento. Tal resolução, consistia na reunião, em um só corpo teórico, de supostos materialistas e idealistas.

"O traço fundamental da filosofia de Kant é a conciliação... de direções filosóficas heterogêneas e opostas... Quando Kant admite que às nossas representações corresponde algo existente fora de nós, certa coisa-em-si, aí Kant é materialista. Quando declara esta coisa-em-si ser incognoscível, transcendente, ultra - terrenal, então Kant fala como idealista" (IUDIN & ROSENTAL, 1959: p. 296 - 297).

Apesar de Kant aceitar e incluir no universo de seu sistema - em particular quando trata das Ciências Naturais - certas constatações materialistas, sua filosofia representa visível reação ao materialismo francês. Sua conciliação com o materialismo decadente da Inglaterra demonstra a desorganização da burguesia alemã e sua visão vacilante do maior acontecimento histórico do século XVIII: a Revolução Francesa.

"Kant corresponde perfeitamente - afirmam Marx e Engels - à importância, à situação penosa e à miséria dos burgueses alemães, cujos mesquinhos interesses não foram jamais capazes de transformarem-se em interesses nacionais comuns de uma classe" (MARX & ENGELS APUD IUDIN & ROSENTAL, 1959: p. 298).

O sistema kantiano é comumente chamado de "filosofia transcendental". Esse termo tem como referência um sistema de conceitos que se ocupa não de objetos, mas com o "modo de conhecimento de objetos na medida em que este deve ser possível a priori" (KANT, 1991: p. 35). Kant não pretendeu alcançar a construção completa de uma tal filosofia, o que resultaria em um gigantesco cânone de Teoria do Conhecimento. Preocupou-se apenas com a "Crítica Transcendental", a qual não tem a finalidade de ampliar quaisquer conhecimentos, mas de apenas retificá-los, verificando suas reais possibilidades. Essa crítica seria como que a primeira parte da filosofia transcendental. Em Hegel, o termo transcendental assume o significado de subjetivo, **psicológico**.

Portanto, a "Crítica da Razão Pura", principal obra de Kant, seria como que a idéia completa de uma filosofia transcendental, mas ainda não ela mesma. Seu objeto são os conceitos e juízos puros, que são tipos de conceitos e juízos a priori em que nenhum conceito empírico está mesclado. A "Crítica" está dividida em duas partes: a doutrina transcendental dos elementos (da razão pura), e a doutrina transcendental do método da razão pura. Ambas se subdividem em dois troncos: sensação e entendimento – os dois troncos do conhecimento humano.

O objetivo declarado de KANT com seu "método crítico" é o de verificar se os conhecimentos da razão seguem ou não "o caminho seguro de uma Ciência" (1991: p. 11). Com a crítica da Razão, Kant pretende "transformar o procedimento tradicional da Metafísica e promover através disso uma completa revolução na mesma, seguindo o exemplo dos geômetras e investigadores da natureza" (KANT, 1991: p. 16).

A grande revolução operada por Kant na epistemologia moderna consistiu em deslocar do centro do processo do conhecimento o objeto,

colocando em seu lugar o sujeito e realizando com isso giro gnoseológico surpreendente e original.

Ao primeiro a demonstrar o triângulo equilátero ... acendeu-se uma luz, pois achou que não tinha de rastrear o que via na figura ou o simples conceito da mesma e como que apreender disso suas propriedades, mas que tinha de produzir (por construção) o que segundo conceitos ele mesmo introduziu pensando e se acrescentou a priori e que, para saber de modo seguro algo a priori, não precisava acrescentar nada à coisa a não ser o que ressaltava necessariamente daquilo que ele mesmo havia posto nela conforme seu conceito ... (Galileu, Torricelli e Stahl) ... compreenderam que a razão só discerne o que ela própria produz segundo seu projeto ... (KANT, 1991: p. 13)

A revolução epistemológica kantiana tem em última instância a finalidade de **positivar a Metafísica**, conhecimento isolado e especulativo da Razão, que se eleva acima da experiência e do mundo sensível, especulando sobre conceitos como os de Deus, Liberdade e Imortalidade.

Até agora se supôs que todo nosso conhecimento tinha que se regular pelos objetos ... Por isso tente-se ver uma vez se não progredimos melhor nas tarefas da Metafísica admitindo que os objetos têm que se regular pelo nosso conhecimento, o que assim já concorda melhor com a requerida possibilidade de um conhecimento a priori dos mesmos que deve estabelecer algo sobre os objetos antes de nos serem dados. (KANT, 1991: p. 14)

Pode-se, portanto, regular a intuição dos objetos pelos próprios ou, ao contrário, regular os objetos pela intuição que deles temos, referindo a essa intuição como **representação** de algo como objeto, e determinando este por aquela. Para Kant, esta última alternativa representa um caminho mais fácil, pois "a própria experiência é um modo de conhecimento que requer entendimento" (KANT, 1991: p. 14). Assim, conhecimentos a priori são conhecimentos que o sujeito coloca ele próprio nas coisas. Para tanto é necessário distinguir entre os objetos como objetos dos sentidos e do entendimento experimental e os objetos como objetos da razão isolada, como veremos mais à frente.

O critério último de verdade do conhecimento é em Kant a **experiência**. Se surge um qualquer conflito "da razão consigo mesma", o experimento decide, de forma que devemos encontrar os elementos da

razão pura, em última instância, na confirmação ou refutação de algo por um experimento.

Porém, esse apego à experiência coloca em relação à Metafísica um estranho problema: como positivá-la, se não podemos ultrapassar os estreitos limites da experiência – o que, paradoxalmente, é justamente a finalidade da Metafísica? Kant soluciona essa contradição afirmando que nossos conhecimentos são conhecimentos dos **fenômenos**, não da **coisa-em-si** (nômeno). Isso quer dizer que são conhecimentos das coisas como se manifestam ou aparecem, e não como efetivamente são em essência.

Para o autor da "Crítica", o que nos impele a ultrapassar os limites da experiência fenomênica é o incondicionado.

Quando se admite que o nosso conhecimento da experiência se guie pelos objetos como coisas em si mesmas, ocorre que o incondicionado de maneira alguma pode ser pensado sem contradição; se contrariamente ... se admite que ... estes objetos, como fenômenos, muito antes se guiem pelo nosso modo de representação, ocorre que a contradição desaparece; e que, conseqüentemente, o incondicionado tem que ser encontrado não em coisas na medida em que as conhecemos (nos são dadas), mas sim nelas na medida em que não as conhecemos, como coisas em si mesmas. (KANT, 1991: p. 15)

A essência da obra crítica kantiana consiste, portanto, na imposição da dualidade fenômeno/coisa-em-si, sendo o princípio de causalidade eficiente apenas nas coisas enquanto fenômenos, pois a coisa-em-si seria incondicionada, absoluta, livre, enquanto que a coisa para nós dada é ao contrário determinada.

Já no início da "Crítica da Razão Pura" Kant deixa antever claramente o caráter dualista de seu pensamento. Para ele, "segundo o tempo" todo conhecimento começa com a experiência, nenhuma representação pode jamais precedê-la. Os objetos estimulam os sentidos, que produzem por si só as primeiras representações, pondo o entendimento (razão) em atividade diante do chamamento a comparar, conectar ou separar essas primeiras representações.

Logo após isso, porém, KANT já parece remar em sentido contrário: "Embora todo o nosso conhecimento comece **com** a experiência, nem por

isso todo ele se origina justamente **da** experiência" (1991: p. 25). Mesmo o conhecimento da experiência já conteria algo "daquilo que a nossa própria capacidade de conhecimento fornece de si mesma", e que num exame menos detalhado aparece indistinto da matéria prima empírica.

Questão fundamental de toda Teoria do Conhecimento está em saber se há conhecimentos **a priori**, absolutamente independentes de toda e qualquer experiência e distintos dos conhecimentos empíricos (a posteriori). Em relação a essa questão, Kant adota como pressuposto fundamental de seu pensamento a existência de conhecimentos a priori. Na medida em que há razão nas Ciências, há sempre nelas algo a priori. A Matemática e a Física seriam prova disso, pois determinam seus objetos a priori (a segunda pelo menos em parte). A Matemática e a Física devem constituir-se, na visão de Kant, em modelo para toda e qualquer matéria que pretenda seguir o "caminho seguro" de uma Ciência. Essa pretensão será bastante criticada mais tarde por Hegel.

As características mais essenciais dos conceitos a priori são a necessidade e a universalidade. Kant demonstra essa assertiva afirmando que, ao tirarmos do conceito de "corpo" todas as características empíricas possíveis, ainda assim restariam propriedades como extensão e substância, próprias não do objeto, mas da estrutura profunda do pensamento humano.

Há na obra de Kant três tipos identificáveis de juízos (assertivas lógicas, agregados de conceitos). Os juízos **analíticos** (ou de elucidação) ocorrem quando o predicado está contido no sujeito, sendo ambos pensados por identidade. Esse tipo de juízo não amplia o conhecimento, servindo apenas para elucidar as propriedades já contidas de antemão no sujeito. Por exemplo: "todo corpo é extenso".

O segundo tipo de juízo é o juízo **sintético**. Nele, o predicado está fora do sujeito; não há identidade, embora haja relação entre ambos. Esses são os juízos de experiência, também chamados "juízos de ampliação", pois acrescem de fato o conhecimento com algo novo. Enquanto que os juízos analíticos têm como fundamento o princípio

aristotélico de identidade, os sintéticos têm como critério de validade unicamente a experiência.

O terceiro tipo de juízo é aquele que Kant coloca como sua maior descoberta filosófica. São os juízos **sintéticos a priori**, os quais, embora independam da experiência, ainda assim ampliam o conhecimento sobre um objeto. A idéia geral de causalidade ("Toda mudança de estado corresponde a uma causa") seria com isso um juízo sintético a priori. A essência dos "sintéticos a priori" está no fato de que o conhecimento científico é composto de intuição mais conceito, isto é, da aprioridade dos analíticos mais a fecundidade dos sintéticos. Isso significa que, para Kant, o conhecimento científico é uma construção que parte de um juízo a priori inicial e o desenvolve ligando-o a outros juízos a priori. O juízo sintético a priori, que surge dessa forma de raciocínio, apesar de possuir a fecundidade dos juízos experimentais, não é um juízo baseado na experiência.

Kant afirma que todos os juízos matemáticos são sintéticos e a priori. Na Geometria todos os juízos seriam a priori, mas haveria algumas proposições analíticas. A Física e as Ciências da Natureza conteriam juízos sintéticos a priori como princípios (princípio da conservação, princípio da ação e reação, etc).

A Metafísica, portanto, para fundar-se como Ciência, deve basear-se firmemente em proposições sintéticas a priori. A condição de existência da Metafísica, com isso, estaria dada: a possibilidade de proposições apriorísticas que, ao mesmo tempo, ampliam o conhecimento.

Ao examinar os princípios da intuição e do entendimento puros, Kant define a primeira como o modo como o conhecimento se refere imediatamente aos objetos, e ao qual tende todo pensamento. Só a **sensibilidade** – "capacidade de obter representações segundo o modo como somos afetados pelos objetos" (KANT, 1991: p. 39) – fornece **intuições**.

Já através do **entendimento** pensamos os objetos intuídos. Portanto, o entendimento não produz intuições, mas intelecções, **conceitos**. Mas, por outro lado, o entendimento deve sempre referir-se a intuições sensíveis.

Kant distingue entre dois tipos de intuição. A **intuição empírica** é aquela que se refere ao objeto mediante sensação. O fenômeno é o objeto de uma intuição empírica. Ele divide-se em matéria e forma fenomênica. A **matéria fenomênica** é aquilo que no fenômeno corresponde à sensação. Já a **forma fenomênica** é o que faz o múltiplo do fenômeno ser percebido como todo ordenado.

A **intuição pura**, ao contrário da empírica, é a forma pura da sensibilidade, dada a priori como **condição estrutural** da percepção. Extensão e figura seriam assim modos da intuição pura.

Em sua "Estética Transcendental" – primeiro trecho da "Crítica da Razão Pura" – Kant analisa os conceitos de espaço e tempo, que segundo ele constituem-se em formas da intuição pura que condicionam a intuição empírica.

Para KANT, o **espaço** não é abstraído de quaisquer experiências externas. Ao contrário, estas últimas só através dele se tornam possíveis. "O espaço é uma representação a priori necessária que subjaz a todas as intuições externas, ... condição da possibilidade dos fenômenos e não uma determinação dependente destes" (1991: p. 42). O espaço é, portanto, forma pura da intuição. Como tal, é sempre uno.

A representação do espaço, conseqüentemente, não é conceito, mas intuição, a qual pode conter em si um número infinito de conceitos. Nesse sentido, o espaço é "disposição formal do sujeito a ser afetado por objetos", "forma do sentido externo em geral" (KANT, 1991: p. 42), sendo o sentido externo aquele que representa (intui) objetos fora de nós, todos juntos no espaço. Ele determina figura, magnitude e relação recíproca.

Como podemos depreender do exposto acima, o espaço não é evidentemente propriedade da coisa-em-si, mas a pura receptividade do sujeito aos objetos, a qual deve existir antes para que haja experiência.

O espaço pode abarcar todas as coisas que nos aparecem externamente, mas não todas as coisas em si mesmas ... Nossas explicações ensinam, portanto, a realidade (isto é, validade objetiva) do espaço no tocante a tudo

o que pode nos ocorrer externamente como objeto, mas ao mesmo tempo a idealidade ... no tocante às coisas ponderadas em si mesmas ... Logo, afirmamos a realidade empírica do espaço (com vistas a toda possível experiência externa) e não obstante sua idealidade transcendental, isto é, que ele nada é tão logo deixemos de lado a condição de possibilidade de toda experiência. (KANT, 1991: p. 43)

Da mesma forma, o **tempo** também não é conceito extraído da experiência empírica, mas forma em geral da percepção a priori. O tempo é sucessivo e não simultâneo, assim como o espaço é simultâneo e não sucessivo. Ao contrário do espaço, ele possui uma só dimensão. É infinito, e todo conceito construído sobre esta intuição não é mais que limitação dessa infinitude.

Kant afirma que são muitos os conceitos sintéticos a priori construídos sobre a intuição pura do tempo. Movimento e mudança são talvez os principais deles. Assim, só com a intuição de tempo poderíamos compreender como Ser e não-Ser podem existir coetaneamente.

O tempo, portanto, não pertence às coisas em si mesmas. Ao contrário, é a forma do sentido interno (modo como a mente intui a si própria e a seu próprio estado interno), assim como o espaço foi definido como a forma do sentido externo. O tempo não fornece figura nenhuma. Daí porque, por carência de analogias, nós o representamos por uma linha infinita.

Por conseguinte, nessa visão o tempo nada é com respeito à coisaem-si. "Possui validade objetiva apenas no tocante aos fenômenos, pois estes já são coisas que assumimos como objetos de nossos sentidos; mas deixa de ser objetivo quando ... se fala de coisas em geral" (KANT, 1991: p. 47). Em suma, tal qual o espaço, o tempo é de uma só vez uma realidade empírica e uma idealidade transcendental. É o "modo de me apresentar a mim mesmo como objeto" (Id. ib.).

Do que podemos depreender que o espaço como intuição pura não se movimenta: ele é imóvel. O que se movimenta são coisas empiricamente percebidas através da noção de espaço. Igualmente, "o tempo não muda, mas sim algo que é no tempo" (KANT, 1991: p. 49).

Portanto, a objetividade do conhecimento fundamenta-se, em Kant, exclusivamente nas condições estruturais da percepção. A concepção de realidade empírica e idealidade transcendental do espaço e do tempo – que deixa entrever toda a essência dualista da gnoseologia kantiana – deixa preservada a segurança do conhecimento apenas na medida em que é experimental:

Com efeito, estamos seguros dele quer estas formas sejam inerentes às coisas em si mesmas, quer apenas à intuição destas coisas. Ao contrário, aqueles que afirmam a realidade absoluta do espaço e do tempo, seja que a aceitem como subsistente (matemáticos) ou como apenas inerente (metafísicos), têm que se achar sempre em conflito com os princípios da própria experiência. (KANT, 1991: p. 48)

Assim, a constituição e as relações dos objetos no espaço e no tempo, e mesmo o espaço e o tempo, desapareceriam se suprimíssemos o sujeito e a constituição subjetiva. A coisa-em-si continuaria a existir, mas tão incognoscível continuaria quanto o é agora para nós e nossa subjetividade. Logo, não podemos jamais questionar sobre a coisa-em-si, mas apenas sobre nosso modo de percebê-la como fenômeno. "Em todo caso conheceríamos inteiramente apenas o nosso modo de intuição ... o que podem ser os objetos em si mesmos jamais se nos tornaria conhecido" (KANT, 1991: p. 49).

Apesar disso, para Kant constitui-se em falsificação da doutrina fenomênica afirmar que a sensibilidade não é mais que representação confusa das coisas. "A diferença entre uma representação confusa e uma clara é meramente lógica, e não se refere ao conteúdo". Nesse ponto Kant introduz a noção de um **critério formal** de validade do conhecimento. Para ele, de fato, através da sensibilidade nós não apenas não percebemos as coisas de forma confusa; na verdade, não as percebemos de forma nenhuma como são em si. Essa crítica é dirigida a Leibniz, que, com sua doutrina gnoseológica dividida entre sensibilidade e intelecto, afirmava que a primeira percebe as coisas (em si) confusas, enquanto que a última as ordena. Para Kant, ao contrário, em qualquer momento de nossa sensibilidade ou entendimento sempre passamos ao largo da coisa-em-si.

Portanto, a crítica de Kant a Leibniz não faz mais que aprofundar e radicalizar o agnosticismo deste último.

Porém, segundo Kant, é errado afirmar que a doutrina transcendental transforma os objetos em ilusão. Enquanto fenômenos, os objetos ficam efetivamente dados. Se considerássemos, porém, os objetos em si como coisas dadas, aí sim os transformaríamos em ilusão. A noção kantiana de **objetividade** é, portanto, puramente **fenomênica**. "Se àquelas formas da representação se atribui realidade objetiva, não se pode evitar que, através disso, tudo seja transformado em simples ilusão ... em tal caso não se pode levar a mal o bom Berkeley por ter degradado os corpos a uma simples ilusão" (53).

Como podemos perceber, na visão de Kant é a noção do objetivo-emsi que cria a idéia de ilusão. Adotar esse pressuposto (o da ilusão) seria então um erro, a começar do fato de que a ilusão é própria do sujeito, não podendo portanto, como todos os outros conceitos, ser atribuída à coisa-em-si. Ao fenômeno também não podemos atribuir a idéia de ilusão, pois não há segundo Kant como ter dúvidas de que ele – ao contrário do nômeno – nos é efetivamente dado.

Kant preserva o caráter objetivo da intuição sensível (pura ou empírica), já que ela só é sensível porque se refere a um objeto, ainda que apenas como fenômeno. Por outro lado, para preservar a realidade da intuição ele precisa retirar ao pensamento qualquer possibilidade de apreensão do real. Ou seja: para salvar a percepção empírica, mate-se o pensamento! Aqui temos o materialismo vulgar em seu leito de morte.

Da mesma forma que a **Estética** Transcendental tem como objeto as intuições puras ou formas da intuição em geral, fornecidas pela sensibilidade, a **Lógica** de Kant tem por objeto os conceitos puros ou formas do pensamento em geral, fornecidas pelo entendimento. A Lógica de Kant subdivide-se em **Geral** (estuda as regras necessárias de todo e qualquer pensamento) e **Particular** (organón de tal ou qual ciência). A Lógica Geral abstrai de si qualquer conteúdo e considera apenas "a forma do entendimento que pode ser fornecida às representações" (57).

A Lógica Geral subdivide-se em Analítica e Dialética. A **Analítica** "resolve em seus elementos a completa atividade formal do entendimento e da razão e os apresenta como princípios de avaliação lógica de todo nosso conhecimento" (KANT, 1991: p. 59). Lida portanto apenas com os conceitos puros; não trata de intuições e nem de conceitos empíricos. Subdivide-se em duas partes, respectivamente sobre os conceitos e os princípios do entendimento puro. A Analítica constitui-se em um dos maiores pedestais da epistemologia contemporânea.

No que diz respeito à **dialética**, ela toma em Kant a acepção dos sofistas, e é vista como uma lógica do vazio e do erro.

Na posse de uma arte tão enganosa, que consiste em dar a todos os nossos conhecimentos a forma do entendimento mesmo que no tocante a seu conteúdo se esteja ainda muito vazio e pobre, reside algo tão tentador que aquela Lógica Geral, que é apenas um cânone para julgamento, foi utilizada como uma espécie de organón ... para a ilusão ... A Lógica Geral, como pretenso organón, denomina-se dialética. (KANT, 1991: p. 59)

Kant empresta à Lógica Dialética o sentido bastante particular de "crítica da ilusão dialética".

A concepção kantiana de dialética surge da limitação que Kant imputa à experiência sensível e ao próprio pensamento. Para ele, a experiência, que não oferece nenhuma imagem fiel e nenhuma certeza sobre a coisa-em-si, é contudo a única e a melhor fonte de conhecimento, posto que tudo o mais não passa de especulação e de convenção. Porém, o Homem possui naturalmente uma tendência a ultrapassar a experiência no sentido de buscar uma compreensão mais exata sobre o mundo nomênico. Mas, pelo fato de ser este imensamente caótico e incaptável pelo espírito humano, a tentativa de pensá-lo transforma-se logo em uma série de erros e gera contradições ao nível da razão. Kant chamou de 'dialética' tanto esses erros quanto o estudo crítico deles.

Kant desenvolveu portanto uma visão negativa de dialética, considerando "tais contradições como um erro, como uma ilusão e não como o reflexo das contradições reais do mundo exterior. Todas as considerações de Kant sobre o caráter contraditório da razão, sobre as

antinomias, confluem na defesa do agnosticismo" (IUDIN & ROSENTAL, 1959: p. 297).

A contradição toma em Kant, portanto, o formato das **antinomias**. Estas últimas, ao invés de refletirem o objetivo, são proposições puramente subjetivas, que demonstram o caráter errático que toma o conhecimento quando quer investigar questões como a da Liberdade, que não fornecem qualquer possibilidade de certeza empírico-experimental. Apesar disso, Hegel chegou a reconhecer na concepção dialética kantiana o mérito de colocá-la como propriedade necessária da razão (embora tenha ficado apenas por aí).

O que faz Kant em síntese é retirar ao conhecimento suas bases objetivas, colocando a Ciência como mera criação subjetiva, como uma grande convenção. Surgem daí suas preocupações lógicas e de formalização do conhecimento científico, preocupações estas que já desde o fim da Idade Média vinham se desenvolvendo, como vimos anteriormente. Para Kant, toda descoberta científica hegemonicamente aceita deve antes de tudo se pautar por regras universalmente aceitas. Se assim proceder, diante de outras descobertas fundadas nas mesmas regras universalmente aceitas essa descoberta será aquilo que o Homem convencionou ser verdadeiro sobre a realidade em determinado momento.

Ao tentar conciliar tendências absolutamente opostas na Teoria do Conhecimento, Kant incorre em uma concepção eclética que cinde inexoravelmente sujeito e objeto. A realidade fica desse modo a par do Homem, fechada, estagnada, enquanto o ser humano vive como que em um outro mundo, purgando sua separação da natureza com discussões científicas que nunca conseguirão reproduzi-la em sua essência.

A principal crítica a Kant foi formulada por **Georg Wilhelm Friedrich Hegel**, que superou todo o idealismo alemão anterior reivindicando novamente bases objetivas para o desenvolvimento da Ciência. A objeção fundamental de Hegel ao kantismo incide sobre seu agnosticismo, e, em particular, sobre a noção de "coisa-em-si", a qual chama de "coisa de pensamento da abstração vazia", "sombra abstrata, segregada de todo conteúdo".

De fato, para Hegel o conhecimento não possui quaisquer limites, pois, se se o concebe como limitado pela percepção sensível e suas "formas a priori", então esse conhecimento não é mais que o verdadeiro **des**conhecimento do mundo real.

Hegel nasceu em 1770 em uma pequena cidade da Alemanha Ocidental. Seguiu a carreira docente até 1831, ano de sua morte. Sua maior contribuição para a história do pensamento está no desenvolvimento de uma **gnoseologia dialética** – superada e desenvolvida mais tarde pelo pensamento marxista.

A concepção hegeliana da dialética difere radicalmente da de Kant e surge justamente da crítica a este no que respeita à questão da possibilidade e dos limites do conhecimento.

O trânsito da concepção kantiana à hegeliana marca a passagem do idealismo subjetivo ao **idealismo objetivo.** Isso porque, para Hegel, a realidade do mundo material e espiritual é a própria Idéia ou Razão absoluta automanifestando-se na natureza, nas instituições sociais e na história. É, portanto, a Idéia objetivada nas coisas. Por isso, o sistema filosófico de Hegel é denominado idealismo absoluto, ou, também, **panlogismo**, visto que, para ele, tudo é manifestação do logos, da Razão absoluta.

A realidade, para Hegel, compreende tudo: a Idéia, a Natureza, o Espírito e a história. A Idéia é o princípio inteligível de tudo, visto que é imanente a todas as coisas. A Natureza é a manifestação objetiva da Idéia no espaço, em cujo ápice se encontra o Homem, ponto culminante do desenvolvimento da natureza. Nele a Idéia toma consciência de si mesma e aí tem início a evolução autoconsciente do Espírito, a qual se denomina história.

Portanto, são três os momentos dialéticos do autodesenvolvimento da Idéia:

a) A **Idéia-em-si** (grande tese). Princípio inteligível da realidade. Constitui-se num sistema de conceitos puros que representam os esquemas do mundo natural e espiritual. A Idéia - em - si desenvolve-se em três momentos dialéticos cujo complexo é objeto da Lógica;

b) A Idéia-fora-de-si (grande antítese), exteriorizada. A **Natureza**. No domínio desta, a Idéia desenvolve-se também em três momentos dialéticos desde as formas ínfimas do mundo físico até as formas mais perfeitas da vida orgânica.

c)A Idéia-para-si (grande síntese). O **Espírito**. Nesta fase a natureza, tendo esgotado a sua fecundidade, volta-se para si, tomando consciência de si no Espírito.

Os três momentos dialéticos do desenvolvimento do Espírito são os seguintes: o **Espírito subjetivo** (o indivíduo) - que compreende os três graus dialéticos da consciência, da autoconsciência e da Razão; o **Espírito objetivo** (a sociedade) - onde temos os graus dialéticos do Direito, da Eticidade e da Moralidade, e, por fim, o **Espírito absoluto** (Deus), que se desenvolve nos graus da Arte, da Religião e da Filosofia.

O instrumental teórico elaborado por Hegel para tentar vencer e explicar as dilacerações de seu tempo – e em particular os rumos contraditórios da Revolução Francesa – foi o **método dialético**, fundamentado nas seguintes idéias principais: a) a idéia de **contradição** ou negação; b) a idéia de **movimento** como um atributo inseparável da matéria e do Espírito; c) a idéia de **totalidade orgânica**, e, por fim, d) a idéia heraclítica de **identidade dos opostos**. Exemplificando de forma típica seu método dialético, Hegel afirma:

Pode-se salientar ... que uma assim chamada proposição fundamental ou princípio de filosofia, se é verdadeira, já é por isso mesmo falsa, na medida em que é somente proposição fundamental ou princípio. Por conseguinte, é fácil refutá-la. A refutação consiste na indicação da sua deficiência. E tal proposição é deficiente porque é apenas o universal ou princípio, é o começo. A refutação seria, portanto, propriamente o desenvolvimento do princípio. (HEGEL, 1991: p. 201)

As formas lógicas de Hegel não são, portanto, "formais", mas plenas de conteúdo vivo, real. Essas formas lógicas são o próprio conteúdo do real, têm caráter ontológico-idealista. Em Hegel, o conteúdo substancial é um conteúdo de pensamentos. Natureza e homem são compostos de uma substância mental comum, as entidades puras.

O **Ser** de Hegel é a pura **tensão**. Ser puro e puro nada são para ele a mesma coisa, pois não possuem outra determinação que não estas próprias. O Ser puro e o nada opõem-se ao algo, que é determinado. "Um ser determinado ... finito, é um ser que se liga a outro; é um conteúdo que está em relação de necessidade com outro conteúdo, com o mundo todo ... (É) a conexão reciprocamente determinante do todo" (APUD LÊNIN, 1989: p.s 105-106). Logo, o Ser começa na sua unidade incondicionada e indeterminada com o Não-ser, surgindo da tensão de ambos o algo, que é determinado.

Conforme ressalta Hegel, essa determinidade que caracteriza o algo, quando "assim isolada para si, como determinidade que é, é a qualidade ... A qualidade, de tal modo que valha distintamente como qualidade que é, é a realidade" (APUD LÊNIN, 1989: p. 107). Já aqui vemos prenunciarse uma concepção de realidade bastante distinta daquela de Kant, para quem a determinidade é própria apenas do fenômeno.

A idéia hegeliana de realidade implica em uma concepção de **objetividade** radicalmente distinta da que foi desenvolvida pela Escola de Oxford, alcançando seu ápice no agnosticismo de Kant.

Para Hegel, esse agnosticismo é em grande medida fruto da tentativa kantiana de identificar a verdade absoluta em verdades particulares, relativas. Como bem resume ENGELS, a filosofia de Kant é "impotente, porque pede o impossível e, portanto, nunca chega a nada de real" (1982: p. 395).

Hegel, ao contrário, vê a verdade do conhecimento no elemento de universalidade; nessa perspectiva, a particularização surgida do cindir de correntes filosóficas em oposição não é senão a **forma** do movimento da verdade. A verdade não reside em tal ou qual sistema filosófico em luta, mas na **totalidade** do movimento dos sistemas filosóficos. Assim, a consciência que se mantém presa à unilateralidade de uma oposição não é a verdadeira consciência da verdade.

A opinião não concebe a diversidade dos sistemas filosóficos como o progressivo desenvolvimento da verdade, mas na diversidade vê apenas a contradição. O botão desaparece no desabrochar da flor, e pode-se dizer

que é refutado pela flor. Igualmente, a flor se explica por meio do fruto como um falso existir da planta, e o fruto surge em lugar da flor como verdade da planta. Essas formas não apenas se distinguem mas se repelem como incompatíveis entre si. Mas a sua natureza fluida as torna, ao mesmo tempo, momentos da unidade orgânica na qual não somente não entram em conflito, mas uma existe tão necessariamente quanto a outra; e é essa igual necessidade que unicamente constitui a vida do Todo. (Hegel, p. 192)

Portanto, para HEGEL, o preocupar-se meramente com os resultados imediatos de um conhecimento, bem como com a mera diversidade das opiniões é passar ao largo da coisa, superficialmente.

O fim para si é o universal sem vida, assim como a tendência é o puro impulso que ainda carece de sua realidade efetiva; e o resultado nu é o cadáver que a coisa deixou atrás de si. Do mesmo modo, a diversidade é sobretudo o limite da coisa. Ela começa onde a coisa termina e é o que a coisa não é. Esse atarefar-se com o fim e os resultados ... em lugar de se prender à coisa, esse modo de proceder sempre passa superficialmente sobre ela. Em lugar de nela demorar-se e de esquecer-se a si mesmo nela, esse saber se prende sempre a algo diverso e permanece de preferência em si mesmo, ao invés de estar na coisa e de se entregar a ela. O que há de mais fácil é julgar o que possui conteúdo e densidade. Mais difícil é apreendê-lo e ... produzir a sua exposição. (1991, p. 192-93)

Nessa perspectiva, não há como impor à Ciência quaisquer limites, como pretendia Kant. Limite posto da forma como o fez Kant é pura coisa do pensamento **metafísico**. Limite posto junto à sua própria negação é a **dialética** – e portanto a Ciência. Se tudo vai além de seus limites, como é que a Razão (logo ela!) não poderia ultrapassá-los?

Portanto, não parece ser correto, como acreditava Kant, que as formas do pensamento estejam vagando **sobre** o conteúdo e não **sejam** o próprio conteúdo, idéia efetivamente sugerida pela "coisa-em-si". É absurdo um conhecimento que, embora possa ser declarado verdadeiro, não pode conhecer a coisa-em-si.

Ademais, não seria também o próprio pensamento uma coisa-em-si? Nesse caso, como conhecê-lo, formulando a respeito dele uma "crítica"? Sobre isso, LÊNIN observa de modo sagaz: "Em Kant a abstração vazia da coisa-em-si está no lugar do curso vivo, do movimento cada vez mais profundo do nosso saber acerca das coisas" (1989: p. 95). De fato, o

próprio HEGEL adverte que "se perguntarmos o que são as coisas-em-si, já na pergunta jaz assim de um modo impensado a impossibilidade de resposta" (APUD LÊNIN, 1989: p. 108).

Hegel adverte que não é preciso depreciar o começo do conhecimento por sua limitação; ele deve ser aceito apenas provisória e hipoteticamente. Mesmo que contra ele possamos adiantar a crítica do instrumental do conhecimento (à moda de Kant), mesmo esta trata-se de pressupostos que exigem fundamentação e mediação, não sendo por isso muito melhor que o começo "contra o qual protesta" (a determinação mais simples e empírica).

Assim, os reclames criticistas devem ser tomados "apenas como **pretensões vãs** a que sejam atendidos eles antes de algo de outro ... O método da verdade também sabe que o começo é um imperfeito, porque é começo, mas sabe simultaneamente que este imperfeito em geral é um necessário, porque a verdade é apenas o vir-a-si-próprio através da negatividade da imediatidade" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 208).

Na concepção hegeliana,

A verdade do Ser é a **essência** ... O Ser é o imediato. Ao querer conhecer o verdadeiro, o que o Ser é em si e para si, o saber não permanece junto do imediato e das suas determinações, mas penetra através dele, com o pressuposto de que por detrás desse Ser ainda há algo de outro que o próprio Ser, de que este plano recuado constitui a verdade do Ser. Este conhecimento é um saber mediado, pois não se encontra imediatamente junto da e na essência, mas começa por um outro, o Ser, e tem de percorrer ... o caminho do ultrapassar do Ser ou, antes, do enfiar-se por ele. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 123)

Esse caminho do conhecimento, que parece exterior ao Ser, é em Hegel, conforme sugere seu panlogismo, o próprio movimento do Ser.

A essência existe enquanto **aparência** e enquanto **realidade**. A aparência é o imediatamente determinado. No momento da aparência o conteúdo permanece para si, tal qual é, e foi apenas transportado do Ser para a aparência. O conteúdo da aparência, portanto, não é posto por ela própria; ela apenas o tem imediatamente. Logo, o que diferencia a essência da aparência é determinação do âmbito da própria essência, o

que faz da aparência a natureza negativa da essência. LÊNIN, comentando a respeito disso, afirma que "o aparente ... desaparece mais freqüentemente, não se sustenta tão 'fortemente', não assenta tão solidamente quanto a essência" (1989: p. 124).

A essência é de fato a mediação absoluta consigo, e, no seu movimento de exteriorização, sempre regressa a si. "Hegel é pela validade objetiva da aparência, do 'imediatamente dado' ... Filósofos menores discutem se se deve tomar por base a essência **ou** o imediatamente dado. Hegel substitui o **ou** por **e**, explicando o conteúdo concreto desse 'e" (LÊNIN, 1989: p. 127). A essência encontra-se no meio termo entre o Ser e o Conceito, e transita para este último.

O **Conceito** é o elemento próprio da Ciência – coroamento do Espírito. Só nele a verdade encontra seu sistema – a forma de sua existência. Porém, o que o absoluto – o verdadeiro verdadeiro – exige para sua expressão não é tanto a forma do conceito quanto seu oposto, a saber, o sentimento e a intuição do conceito, sendo estes os "que devem tomar a palavra e receber expressão" (HEGEL, 1991: p. 194).

A **Lei** constitui-se na unidade dos fenômenos. Estes últimos encontram na lei a permanência. A lei pode também ser definida como reflexão do fenômeno na identidade consigo. "A lei não está, portanto, para além do fenômeno, mas imediatamente presente nele; o reino das leis é o **reflexo tranqüilo** do mundo existente ou que aparece ... A existência regressa à lei como ao seu fundamento ... A lei é, portanto, o fenômeno essencial" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 140-141).

Hegel faz a distinção entre a verdadeira **Ciência** e o mero **formalismo** afirmando que a primeira capta o absoluto em sua essência, que é o automovimento. Quando, por outro lado,

a mesma forma imóvel e una é aplicada superficialmente pelo sujeito no ato do saber à realidade que está presente, e a matéria do saber é mergulhada de fora nesse elemento estático, tal modo de proceder cumpre as exigências da Ciência tão pouco quanto os arbitrários devaneios sobre o conteúdo. Com efeito, a Ciência exigia a riqueza que flui de si mesma e a diferença das figuras que a si mesma se determina. Aqui, ao contrário, trata-se de um formalismo monocromático ... (HEGEL, 1991: p. 198)

Hegel esforça-se por demonstrar o vazio do formalismo kantiano. Sua tríade dialética é morta, aconceptual, puramente formal. É algo superficial, exterior. Esse tipo de pensamento toma

"da intuição ordinária determinações sensíveis que, sem dúvida, devem significar algo diferente do que exprimem; de outra parte se utiliza o que é em si mesmo significante, as determinações puras do pensamento como sujeito, objeto, substância, causa, universal, etc ..., mas de maneira tão acrítica e inconsiderada como na vida ordinária, e do mesmo modo como se utilizam debilidade e força, expansão e contração, de sorte que essa metafísica é tão acientífica quanto essas mesmas representações sensíveis" (HEGEL, 1991: p. 214).

O formalismo de fato, parte de conceitos do pensamento como se fossem coisas dadas pela intuição.

A incompetência pode vir a cair num espanto admirativo em face de tal força que une aparências tão distantes uma da outra, e em face da violência que o tranqüilo mundo sensível sofre da parte de semelhante modo de unir as coisas, o que lhe confere a aparência de um conceito sem, no entanto, exprimir o objeto principal, a saber, o conceito mesmo ou a significação da representação sensível. (HEGEL, 1991: p. 214)

O formalismo vale-se de uma mera aplicação exterior e vazia da fórmula, processo chamado de "construção" e baseado na "pura identidade ... branco sem forma. Essa natureza monocromática do esquema e suas determinações sem vida, essa identidade absoluta e a passagem de uma coisa na outra, constituem igualmente o conhecimento morto e o entendimento exterior" (HEGEL, 1991, p. 215).

Já a verdadeira Ciência, por outro lado, é o avesso do mero formalismo. O fundamental para ela não é a contradição morta, mas o **trânsito da conexão**. A Ciência, ao contrário do formalismo, mergulha fundo na matéria e segue seu movimento, retornando com isso a si mesma e encontrando o conteúdo em sua plenitude.

A Ciência pode organizar-se somente por intermédio da vida própria do conceito ... Desta maneira ... o conteúdo não recebe sua determinidade de outro, pregada sobre ele, mas a dá a si mesmo e se dispõe a si mesmo como momento e como lugar do todo. O entendimento que procede por tabelas ... (apenas) classifica ... Esse processo fornece apenas uma

indicação do conteúdo, mas não o próprio conteúdo ... O entendimento formal deixa aos outros o cuidado de cumprir essa tarefa, que é a principal. (HEGEL, 1991: p.s 215-216)

O formalismo postula que a mera possibilidade de representar-se algo de modo diferente é o bastante para refutar uma representação. Atribui todo valor ao universal "nessa forma da inefetividade". Afirma a universalidade unilateral e, portanto, abstrata, como verdadeira. Mas nada que seja unilateral pode ser verdadeiro, pois o verdadeiro é o total, e não quaisquer partes ou aspectos particulares. Como afirma HEGEL na mais célebre passagem da "Fenomenologia do Espírito", "O verdadeiro é o **Todo**. Mas o todo é somente a essência que atinge a completude por meio de seu desenvolvimento. Deve-se dizer do Absoluto ... que é o que na verdade é apenas no seu fim. Nisto consiste sua Natureza: ser ... sujeito ou devir-de-si-mesmo" (1991, p. 199).

Portanto, não existe nada semelhante a uma coisa-em-si incognoscível, pois, como alerta o próprio Hegel na "Ciência da Lógica", o Homem não pode estar fora da natureza das coisas.

"A **substância** é sempre em si mesma **sujeito**, (e) pode-se dizer que todo conteúdo é sua própria reflexão em si. O subsistir ou a substância do existir do conteúdo é a igualdade consigo mesmo. Com efeito, sua desigualdade consigo seria a sua dissolução. Mas a igualdade consigo é a pura abstração, e a pura abstração é o pensar ... É aqui que se compreende que o **ser é pensar**" (HEGEL, 1991: p. 216).

Aqui insinua-se já um dos mais fundamentais aspectos do obra de Hegel: o de que não existe, como em Kant, qualquer indissolúvel contradição entre sujeito e objeto, pois ambos se unificam na Idéia. A oposição sujeito/objeto não passa, na verdade, de sua aparência diversa, contraditória, mas em essência plena, una. Em Hegel, como em Platão e Aristóteles, as condições do conhecimento são condições de existência da própria realidade, conteúdo que se notorizou na célebre máxima "o real é racional, e o racional é real".

A Filosofia sempre buscou o verdadeiro na **substância**, na matéria em si mesma, como coisa apartada do sujeito. Para HEGEL, ao contrário, "tudo depende de apreender e exprimir o verdadeiro não como substância, mas, exatamente na mesma medida, como sujeito" (1991, p. 198). Essa

não deixa de ser uma solução surpreendente para o problema do conhecimento (embora não original). Mas, se refletirmos um pouco mais, veremos também que é uma solução bastante cômoda. Basta fecharmos os olhos e imaginarmos que tudo é idéia e que a matéria não passa de acidente, e com isso tudo se resolverá. Essa foi a mesma solução empregada por Platão no combate ao relativismo sofistico. Ela aparece porém, aqui, mais desenvolvida, e não deixa de conter um grande avanço para a história do conhecimento: a refutação de um agnosticismo também mais desenvolvido (o kantiano), através da compreensão de que a verdade absoluta só existe no seu **processo**, como devir de si própria nos seus diversos momentos ou figuras, que são as verdades relativas ou particulares.

Hegel, por conseguinte, restitui precisamente aquilo que falta à concepção kantiana de verdade: o **movimento**. ENGELS resume bem esse aspecto ao afirmar que

A verdadeira significação e o caráter revolucionário da filosofia de Hegel ... residia ... em que ela ... deu o golpe de misericórdia no caráter definitivo de todos os resultados do pensar e do agir humanos. A verdade ... não era mais para Hegel uma coleção de proposições dogmáticas prontas ... a verdade residia agora no próprio processo do conhecer, no longo desenvolvimento histórico da Ciência, que se eleva de estágios inferiores do conhecimento para ... superiores. (1982, p. 380-381)

Além de criticar a concepção de uma substância inexoravelmente cindida do sujeito, HEGEL critica também a crença comum (em particular do empirismo) em uma **substância morta**, idêntica a si mesma na sua imediatidade:

A substância vivente é também o Ser que na verdade é sujeito ou, o que dá no mesmo, é verdadeiramente efetivo somente na medida em que é o movimento do pôr-se-a-si-mesma, ou é a mediação consigo mesma do tornar-se outra. Como sujeito, ela é a pura simples negatividade e, justamente por isso, é a cisão do simples ou a duplicação que se opõe que é novamente a negação dessa diversidade indiferente e do seu oposto. O verdadeiro é unicamente essa diversidade que se reinstaura ou a reflexão em si mesma no ser-outro. Não é uma unidade original enquanto tal, ou imediata enquanto tal. É o devir de si mesmo, o círculo que pressupõe seu fim como seu alvo, tem esse fim como princípio e é efetivo somente por meio da sua realização e do seu fim. (1991, p. 199)

O empirismo clássico sempre postulou ingenuamente a identidade entre forma (pensamento) e conteúdo (realidade). O empirismo crítico, por outro lado, renunciou à investigação da verdade cindindo ambos irrevogavelmente. HEGEL, criticando ambas as concepções, afirma ser engano

julgar-se que o conhecimento pode contentar-se com o em-si ou a essência mas poupar a forma, de tal forma que o princípio absoluto ou a intuição absoluta pudesse tornar supérflua a explicitação da essência e o desenvolvimento da forma. Justamente porque a forma é tão essencial à essência quanto esta o é a si mesma, a essência não deve ser apreendida e expressa **puramente como essência**, ou seja, como **substância imediata** ... mas igualmente como forma e na riqueza total da forma desenvolvida. Somente assim é apreendida e expressa como algo efetivo. (1991, p. 199)

Hegel lembra, tangenciando o genial, que o conhecimento metafísico tem medo de admitir que a mediação (o conhecimento) não é o absoluto, como se isso resultasse em abandonar o conhecimento absoluto.

Na verdade, porém, esse horror nasce da ignorância da natureza da mediação e do próprio conhecimento absoluto. Com efeito, a mediação nada mais é que a igualdade consigo mesma que a si mesma se move ... a negatividade reduzida à sua simples abstração, o simples devir ... Tratase, pois, de um desconhecimento da Razão quando a reflexão é excluída do verdadeiro e não é apreendida como momento positivo do Absoluto. É ela (a reflexão) que faz com que o verdadeiro seja um resultado, mas, ao mesmo tempo, suprime essa oposição (como resultado) ao seu devir, pois esse devir é igualmente simples e não é diferente da forma do verdadeiro que consiste em mostrar-se simples no resultado ... Se o embrião é, sem dúvida, homem em si, no entanto, ele não o é para si. O homem é para si tão-somente como razão formada, que a si mesma se fez o que já é em si... (HEGEL, 1991: p. 200)

Hegel toma de empréstimo o pensamento teleológico de Aristóteles para explicar que a **razão** é o agir de acordo com um **fim**. O fim é algo de imediato, posto que está em repouso, mas é ao mesmo tempo motor e, portanto, sujeito. O fim é igual ao começo da mesma forma que o ato é ao mesmo tempo potência, que o efetivo imediato é ao mesmo tempo conceito, riqueza de determinidades. Por isso o começo supõe o seu fim como o em si supõe o para si, e move-se para ele através da pura e

simples negatividade. O fim atualizado é portanto, ao mesmo tempo, **movimento e resultado** do devir desenvolvido. Já o começo, na medida em que se atualiza, é um comportar-se negativo com seu fim.

Do exposto acima podemos depreender que o verdadeiro em Hegel não é mera correspondência entre sujeito e objeto (até porque em seu pensamento não há essa dicotomia, já que tudo é **ideal**). Mais que isso, **o verdadeiro é ele próprio sujeito**, é a Idéia (de caráter objetivo, não subjetivo) concebida em seu eterno devir. Ou seja: a verdade no seu desenvolvimento é sujeito de si própria, pois engendra-se a si própria.

Essas concepções de Hegel são desenvolvimentos necessários de seu panlogismo, isto é, do fato de que a Lógica não tem, em seu sistema, o sentido que tradicionalmente lhe é atribuído na História da Filosofia (o de "forma" do pensamento). A Lógica possui aqui caráter ontológico (pois tudo é Idéia), confundindo-se com o próprio movimento do real e do racional – que são idênticos.

LÊNIN afirma que Hegel viu no movimento dos conceitos o movimento da própria realidade.

Conceitos que habitualmente parecem mortos, Hegel analisa-os e mostra que neles existe movimento. Finito? Significa que se move para o fim! Algo? Significa não aquilo que é outro. Ser em geral? Indeterminidade tal que Ser = Não-ser. Flexibilidade omnilateral, universal, dos conceitos, flexibilidade que vai até à identidade dos contrários. Esta flexibilidade, aplicada subjetivamente, é igual a ecletismo e sofistica ... Aplicada objetivamente, isto é, refletindo a omnilateralidade do processo material e sua unidade, é dialética, é o reflexo correto do desenvolvimento eterno do mundo. (1989, p. 109)

O movimento do conceito, em Hegel, dá-se do conceito puramente formal ao juízo; deste à proposição; desta ao silogismo, e vai daí à transformação plena da subjetividade do conceito em objetividade. Para Hegel tudo resume-se nesse movimento, isto é, tudo é um silogismo, um universal que se encadeia com a singularidade através da particularidade. LÊNIN desenvolve disso uma interpretação materialista ao afirmar que

Para Hegel, o agir, a prática, é um silogismo lógico ... E isto é verdade! Naturalmente, não no sentido de que a figura da lógica tem o seu 'seroutro' na prática do Homem, mas vice-versa: a prática do Homem, repetindo-se milhares de milhões de vezes, fixa-se na consciência do Homem como figuras da Lógica ... (com) a solidez de um preconceito, (com) um caráter axiomático ... (1989: p. 195)

Que é exatamente o **Espírito**? É a substância que é essencialmente sujeito! Ou seja: ao contrário de Kant, que vê na coisa-em-si – substância morta, desprovida de qualquer conceito – o verdadeiro real, para Hegel só o espiritual é o verdadeiro real. Ele é a essência, o puro para-si, o que no seu ser-fora-de-si, isto é, na sua suposição de um ser-outro, de uma "substância material", permanece não obstante em si mesmo.

Qual a relação entre a **Ciência** e o **Espírito**? A Ciência é o último degrau do Espírito, é o Espírito que se sabe Espírito. O fundamento da Ciência surge como o reconhecer-se a si mesmo (sujeito) no ser-outro (objeto). Os motivos platônicos saltam aqui à vista.

O Espírito não é aquele que afasta o negativo,

como acontece quando dizemos de alguma coisa que ela não é nada ou que é falsa, e assim, satisfeitos, passamos a outra coisa. Ao contrário, o Espírito é esse poder somente quando contempla o negativo face a face e junto dele permanece. Esse permanecer é a força mágica que converte o negativo em Ser. Tal força é o mesmo que acima foi denominado **sujeito** e que, pelo fato de conferir o existir à determinidade no seu elemento suprime a imediateidade abstrata ... O sujeito é, por conseguinte, a substância verdadeira, o Ser ou a imediateidade que não tem **fora** de si a **mediação**, mas é a própria mediação. (HEGEL, 1991: p. 206)

Portanto, como vimos acima, o conhecimento jamais é algo de exterior ao sujeito. Concebê-lo dessa forma é precisamente o que abre espaço para o agnosticismo. O conhecimento é ele próprio sujeito, unidade de opostos (subjetivo/objetivo) desenvolvendo-se a si própria.

Assim, a **natureza da Ciência** é o **movimento das essencialidades**. Esse caminho não é o do "filosofar contingente que se prende a quaisquer objetos", mas o que abraça o movimento do conceito – que vai da universalidade abstrata à fluidez do automovimento do concreto – e, portanto, "o mundo total da consciência na sua necessidade" (HEGEL, 1991: p. 206).

Segundo HEGEL, o **verdadeiro** e o **falso** como valores **absolutos**, isolados e fixos são próprios apenas dos pensamentos privados de movimento e, portanto, de conteúdo.

"A verdade não é uma moeda ... Assim como a unidade do sujeito e do objeto, do finito e do infinito, do ser e do pensar, etc tem o inconveniente de significar o que o sujeito e o objeto, etc são fora da sua unidade e, portanto, uma vez na sua unidade, não são mais o que diz a sua expressão, exatamente do mesmo modo o falso é um momento da verdade não mais como falso" (1991, p. 208-209).

Aqui Hegel mostra toda a radicalidade de seu **monismo** – essência de sua oposição a Kant, que é dualista. Para aquele, apesar de podermos distinguir tudo de tudo, não obstante tudo é tudo, pois toda e qualquer distinção é o lado negativo do Ser; sua positividade está na unidade. Não obstante, a **negatividade** é de primordial importância, pois nela reside a raiz do automovimento.

Ciência e simples consciência são em Hegel perspectivas opostas. O ponto de vista do estar consciente – ver as coisas objetivas em oposição a si próprio, e ver a si próprio em oposição às coisas objetivas – é para a Ciência justamente a perda do Espírito. Para a consciência, por outro lado, a Ciência é o "longínquo além, no qual ela não mais se possui a si mesma" (HEGEL, 1991: p. 203). Ambas – Ciência e consciência – vêem uma à outra como o inverso da verdade. Mas constituem-se em momentos do longo percurso do saber rumo ao Conceito puro (essência).

A consciência é o existir imediato do Espírito e tem dois momentos: o do **saber** e o da **objetividade**, negativo em relação ao primeiro.

Quando o Espírito se desenvolve nesse elemento e expõe os seus momentos, essa oposição incide em cada um deles, e todos surgem como momentos da consciência. A Ciência de um tal caminho é a Ciência da experiência que a consciência faz. A consciência não sabe e não concebe nada que não tenha lugar na sua experiência. Com efeito, o que está nessa experiência é somente a substância espiritual tomada, na verdade, como objeto do seu Si. (HEGEL, 1991: p. 207)

Hegel coloca a **experiência**, portanto, como a forma através da qual a consciência cindida (entre o Eu e a Substância) desenvolve-se rumo à unidade do conceito.

Para Hegel, é em última instância falso o distinguir entre um **saber** e sua **substância**, não obstante essa desigualdade seja momento essencial do conhecimento. Dela virá inexoravelmente a igualdade, que é a verdade não no sentido de que a desigualdade tenha sido eliminada, mas no sentido de que ela permanece subsistindo como momento negativo.

De fato, a separação entre Eu e Substância resolve-se justamente no conceito, momento em que é superada a cisão entre saber e verdade (o conceito é o saber verdadeiro). "O que parece acontecer fora dela (da substância) e parece ser uma atividade voltada contra ela é seu próprio operar, e ela mostra ser essencialmente sujeito. Quando a substância tiver mostrado perfeitamente essa sua natureza, o Espírito terá tornado seu existir igual à sua essência. Do mesmo modo como é, é ... para si" (HEGEL, 1991: p. 207). Isso significa que, quando o Espírito alcança o conceito, o Ser está absolutamente mediatizado. Com isso o Espírito preparou para si o saber, fazendo o verdadeiro, além de **ser** verdadeiro, tomar ainda a **forma** do verdadeiro.

A noção de Espírito, como podemos depreender, designa um sujeito essencialmente **coletivo** do conhecimento, portanto social. Desse sujeito o indivíduo não passa de um pobre momento. É devido a essa concepção de sujeito total, coletivo, que Hegel consegue resolver positivamente o problema da objetividade do conhecimento. Já Kant, que não alcança mais que a concepção de um sujeito individual, não consegue ir longe e faz naufragar o conhecimento em uma resolução negativa e dilemática do problema da objetividade.

A substância do **indivíduo** é para Hegel o existir passado do Espírito, propriedade já adquirida do espírito universal. É portanto o senso comum. Já a Ciência

representa igualmente na sua figuração o que já passou a momento e propriedade do Espírito ... A impaciência (leia-se Kant) exige o impossível, que vem a ser a conquista do fim sem o meio. De um lado, deve-se suportar a longa extensão desse caminho, pois cada um dos momentos é necessário. De outro lado, é preciso demorar-se em cada um dos momentos, pois cada um é uma figura individual total, e somente será considerado absolutamente na medida em que for considerada sua

determinidade como todo ou concreto, ou o todo for considerado na particularidade desta determinação. (HEGEL, 1991: p. 204)

Já o **existir** é o Espírito que já terminou seu trabalho, "e no qual, por conseguinte, sua atividade e seu interesse já não mais residem" (HEGEL, 1991: p. 205). A existência é, pois, o superar (negativo) do devir. Logo, conforme conclui com muita propriedade LÊNIN, "Quando todas as condições da coisa estão disponíveis, ela entra na existência" (1989, p. 137). MARX afirma o mesmo com relação à Ciência Social:

Uma formação social nunca perece antes que estejam desenvolvidas todas as forças produtivas para as quais ela é suficientemente desenvolvida, e novas relações de produção mais adiantadas jamais tomarão o lugar, antes que suas condições materiais de existência tenham sido geradas no seio mesmo da velha sociedade. É por isso que a humanidade só se propõe as tarefas que pode resolver, pois, se se considera mais atentamente, se chegará à conclusão de que a própria tarefa só aparece onde as condições materiais de sua solução já existem ... (1982c: p. 26).

O existir, portanto, é ele já qualidade, pensamento determinado e idêntico a si mesmo. O que temos aqui é o próprio "**Nous**" de Anaxágoras, filósofo citado por Hegel como aquele que primeiramente reconheceu a existência da essência. O "Nous" é, na visão de Hegel, a verdadeira substância. Como possui identidade, parece firme. Mas essa igualdade é também negatividade, o que faz com que a coisa transite para sua própria dissolução.

Ao contrário de Kant, Hegel não considera o conhecimento matemático um paradigma para a Filosofia. A **Matemática**, para Hegel, é um conhecimento formal, incapaz de apreender o automovimento do conceito; apreende apenas na fórmula o devir do **existir** da coisa, não o devir da coisa em sua **essência**. O método da matemática não pode pois ser o da filosofia, pois "o método é a consciência acerca da forma do autodesenvolvimento interno do seu conteúdo ... É (portanto) o conteúdo em si, a dialética, que ele tem em si próprio e que o move adiante" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 100).

O aspecto **formal** do conhecimento matemático seria fruto, segundo Hegel, da adoção da **igualdade** (identidade) como pressuposto básico.

Nesse sentido, Hegel o considera uma intelecção exterior à coisa, que reduz o automovimento do conceito à matéria na qual aparece idêntico a si, exterior e sem vida; por meio desse conhecimento, portanto, a coisa verdadeira é alterada. Assim, embora um teorema matemático possa ser (formalmente) verdadeiro, seu conteúdo é sempre falso. O conhecimento matemático é assim colocado como o que busca um **fim**, um **resultado**, não se prendendo ao movimento íntimo da coisa. É portanto um conhecimento intrinsecamente negativo.

A matéria da Filosofia, ao contrário, não é o inessencial, mas o existir no seu conceito, a verdade vista como "seu próprio movimento no interior dela mesma" (HEGEL, 1991: p. 213).

Já ENGELS, ao contrário de Hegel, não tem sobre a Matemática opinião assim tão radical. "O número é a mais pura determinação quantitativa que conhecemos. Mas está cheio de diferenças qualitativas ... Por conseguinte, o que diz Hegel a respeito da ausência de pensamento na aritmética é incorreto" (1979: p. 189). ENGELS cita como exemplo de raciocínio qualitativo em matemática o cálculo infinitesimal, "que tornou primeira possível, pela vez, que а Ciência representasse, matematicamente, processos e não apenas estados" (1979: p. 191). Engels chama atenção também para o fato de que, quanto mais complexo o objeto de uma ciência, mais dificil é sua matematização.

A realidade do Espírito é, em Hegel, a **Idéia**. A Idéia é o **conceito adequado**, "o verdadeiro como tal". Nela reside a essência da objetividade do conhecimento.

Como se deu ... o resultado de a Idéia ser a unidade do conceito e da objetividade, o verdadeiro, não é de considerá-la apenas como um objetivo – do qual haveria que aproximar-se, mas que permaneceria ele próprio sempre uma espécie de além –, mas de considerar que todo o real só é na medida em que tem em si e expressa a Idéia. O objeto, o mundo objetivo e subjetivo, em geral, devem não apenas ser congruentes com a Idéia, mas são eles próprios a congruência do conceito e da realidade; aquela realidade que não corresponde ao conceito é mero fenômeno – o subjetivo, contingente, arbitrário, inverdadeiro. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 176)

Mas por que a **verdade** é a **Idéia**? Porque ela é objetividade mais conceito; porque todo o real – na medida em que é verdadeiro – é Idéia. Eis aqui o fundamento da noção de **objetividade** em Hegel. O ser singular é apenas parte da Idéia. Para ser a própria Idéia, precisa juntar-se a outras realidades subsistentes por si. Só nessa ligação realiza-se o conceito. "O singular por si não corresponde ao seu conceito; esta limitidade da sua existência constitui a sua finitude e a sua decadência" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 178).

Portanto, a Idéia em Hegel é a própria **Totalidade**. É a "possibilidade que tem em si própria sua realidade ... Nela (Idéia) estão contidas todas as relações do entendimento, mas no seu infinito regresso e identidade em si" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 180). Na medida em que a Idéia é também ela própria processo, fica claro porque o conceito jamais alcança inteiramente a Idéia, a não ser no infinito.

A **dialética** é em Hegel precisamente o método para o conhecimento da Idéia. "O método absoluto ... não se comporta como reflexão exterior, mas toma o determinado a partir de seu próprio objeto, uma vez que ele próprio (objeto) é o princípio imanente e a alma dele (do método)" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 198).

A dialética, portanto, como **método**, corresponde ao próprio comportar-se da Idéia. É então, como afirma Engels, "ciência das relações", em oposição à Metafisica como "ciência da separação". LÊNIN, utilizando a mesma noção, afirma que "Resumidamente pode-se definir a Dialética como a doutrina da unidade dos contrários. Com isso abarcarse-á o núcleo da dialética, mas isso exige esclarecimentos e desenvolvimento" (1989: p. 200).

A idéia de dialética é bastante antiga. Remete até mesmo a antes de Platão. Já os eleáticos a haviam usado para combater a própria noção de movimento, o que significa que usaram premissas da dialética (ainda que de um ponto de vista subjetivo e exterior) para combater a própria Dialética.

A dialética realmente positiva, porém, consiste não na contradição como enlaçamento exterior, mas como o **transitar** entre os opostos. "Não é

a negação vazia, não é a negação gratuita, não é a ... vacilação, dúvida cética ... mas a negação como momento da conexão, como momento do desenvolvimento, como retenção do positivo, isto é, ... sem qualquer ecletismo" (LÊNIN, 1989: p. 203).

De fato, o pensar dialético põe o vir-a-ser como o conteúdo, o conceito e o existir lógico da coisa. O saber dialético é, então, "a astúcia que, parecendo subtrair-se à atividade, vê como a determinidade e sua vida concreta, justamente quando julgam perseguir sua própria conservação e seu interesse particular, realizam o inverso e constituem um agir que se dissolve e se faz momento do todo" (HEGEL, 1991: p. 217).

Já o pensar anti-dialético, metafísico, "faz da identidade lei sua, deixa o conteúdo contraditório que tem perante si cair na esfera da representação, no espaço e no tempo, onde o contraditório é mantido forade-si num um-ao-lado-do-outro e num a-seguir-um-ao-outro, e, assim, aparece perante a consciência sem o contato recíproco" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 204). Não é que o formalismo não conceba de nenhum modo a contradição. Ele até chega a pensá-la, "só que desvia logo o olhar dela e ... transita dela apenas para a negação abstrata" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 205).

Da afirmação acima podemos depreender a força que possui ainda hoje o princípio aristotélico de **identidade**, o qual põe de lado toda a **negatividade**. No pensamento dialético, ao contrário, a negatividade

é a fonte mais interior de toda atividade, do automovimento vivo e espiritual, a alma dialética que todo o verdadeiro tem em si próprio, através da qual somente ele é um verdadeiro; pois somente sobre esta subjetividade repousa o superar da oposição entre conceito e realidade e a unidade que é a verdade. – O segundo negativo, a negação da negação, ao qual chegamos, é aquele superar da contradição; ... é o momento mais interior, mais objetivo ... pelo qual há um sujeito ... livre. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 205)

A profundidade da crítica de Hegel ao agnosticismo da Escola de Oxford só é comparável à rotunda crítica de Descartes ao ceticismo renascentista. De fato, com Hegel o conhecimento é recolocado nos trilhos

da objetividade, na medida em que é definitivamente superado o dualismo agnóstico.

Mas os frutos dessa superação só serão plenamente colhidos com os também alemães **Karl Marx** (1818-1883) e **Friedrich Engels** (1820-1895), que superam o método hegeliano fundando uma concepção inteiramente nova a respeito do conhecimento. Essa concepção assenta-se em uma dialética de tipo objetivo-materialista, ou, o que dá no mesmo, em um **materialismo** de tipo **moderno**, que incorpora em si as principais conquistas do pensamento dialético-idealista.

A essência do **corte epistemológico** operado por Marx com a Filosofia anterior está em que funda a noção de Totalidade não na 'Idéia', mas no conceito de Prática Social – ou simplesmente **Práxis**. Isso traz profundas conseqüências para a história do conhecimento – e, em particular, para a distinção entre Ciência e Filosofia, a qual entra em colapso diante da noção de Práxis.

A nova concepção materialista fundada por Marx e Engels – o **materialismo histórico** – possui como núcleo a gnoseologia hegeliana. Da mesma forma que o hegelianismo, o marxismo é também uma espécie de pensamento **monista** – busca a unidade da realidade, a conexão universal. Nesse sentido, combate tanto quanto Hegel a unilateralidade metafísica, a qual gera uma totalidade fragmentária e dispersa, base do relativismo.

O materialismo histórico, portanto, da mesma forma que o idealismo objetivo hegeliano, fundamenta a possibilidade do conhecimento objetivo na noção de **Totalidade**. Mas a Totalidade de Marx não é ideal, isto é, não se fundamenta no pensamento, mas na própria realidade. Isso, porque a **gnoseologia hegeliana** aparece em Marx conjugada a uma **ontologia materialista**, que resolve a dicotomia entre Ser e Pensar não na Idéia, mas na própria realidade social.

Ao colocar a noção de Práxis como essência de seu pensamento, o materialismo moderno estabelece com a Ciência uma profunda conexão. Fruto direto do imenso avanço das forças produtivas desencadeado pelo

desenvolvimento da Ciência Natural, o materialismo histórico preocupa-se especialmente com a influência da prática científica na constituição de visões de mundo, e, inversamente, com a influência de visões de mundo na constituição das diversas ciências.

Além disso, o materialismo moderno busca expressar sua noção de totalidade em uma síntese construída a partir de noções importantes das ciências especializadas. Tal síntese expressa aspectos da essência da realidade. A conservação da energia, por exemplo, é manifestação, na forma de lei científica, do princípio dialético da transformação da quantidade em qualidade, pois, para que uma forma de energia seja transformada em outra, é necessário determinado acréscimo ou subtração de quantidades de movimento.

O materialismo histórico é portanto um **método epistemológico**, que não serve para "criar" novas teorias científicas, mas para generalizálas histórica e epistemologicamente, apontando em que medida revelam aspectos importantes ao avanço da prática social.

Qual a diferença entre o materialismo moderno e o materialismo anterior, comumente chamado de "mecânico" ou "vulgar"? Há em primeiro lugar diferenças de conteúdo social. As duas formas de materialismo surgem de processos sociais distintos. O materialismo mecânico é a visão construída pela burguesia revolucionária para combater o pensamento medieval, abrindo caminho, dessa forma, para o avanço da Ciência Natural e, consequentemente, para o progresso das forças produtivas. Já o materialismo histórico é a concepção de mundo do proletariado revolucionário, que a usa como arma de combate contra as formas decadentes nas quais se tornou o materialismo anterior, degenerado no chamado "empireocriticismo". Ao combater tais ideologias céticas e relativistas, o materialismo moderno busca afirmar a necessidade do progresso em direção a novas e mais avançadas formas de organização social. Isso era exatamente o que fazia o materialismo mecânico em seus primórdios, de onde se depreende que visões de mundo materialistas estão comumente ligadas a forças sociais renovadoras.

Do ponto de vista estritamente **epistemológico**, as diferenças entre as duas formas de materialismo relacionam-se intimamente à concepção geral de movimento. O materialismo moderno concebe "o movimento, em seu sentido mais geral, ... como forma de existência, como atributo inerente à matéria, (que) compreende todas as transformações e processos que se produzem no Universo, desde as simples mudanças de lugar até à elaboração do pensamento" (ENGELS, 1979: p. 41).

Portanto, para o materialismo moderno o movimento não é acidental, mas, como em Hegel, atributo essencial, de forma que, se a matéria é incriável e indestrutível, o movimento também o é. O materialismo mecânico concebia a mera mudança de lugar como a única e, portanto, como a mais elevada forma de movimento. O materialismo histórico reconhece que, de fato, todo movimento liga-se à mudança mecânica de lugar, mas assinala que esta não se constitui na totalidade do movimento, senão em um aspecto inseparável dela. "Quanto mais elevada a forma de movimento, tanto menor a mudança de lugar" (ENGELS, 1979: p. 41).

A visão de movimento subjacente ao materialismo mecânico é a fonte da conhecida explicação das causas do movimento a partir de **forças**, obscuro conceito da mecânica que serve menos para conhecer que para desculpar-se perante a incompetência em conhecer. Já Hegel ressaltava que a explicação por meio de "forças" é, em geral, tautológica: explica, por exemplo, o movimento da Terra como "força de atração do sol". Mas que força é essa? Essa explicação corresponde ao mesmo que dizer: "o movimento nada mais é que o movimento". A respeito disso afirma ENGELS:

Constitui maneira muito peculiar de objetivar, essa de introduzir, numa lei já estabelecida como independente de nossa subjetividade ... o conceito puramente **subjetivo** de força ... Não se acrescenta a mínima objetividade nova à de uma lei já estabelecida ou à objetividade de uma ação quando nela introduzimos uma força: o que lhe acrescentamos é a nossa afirmação subjetiva de que ela atua em virtude de uma força inteiramente desconhecida no momento ... É neste ponto, precisamente, que adquire um sentido essa objetivação que é, antes, uma subjetivação: não porque tenhamos reconhecido inteiramente a lei, mas sim, exatamente, porque ainda nos encontramos às escuras ... Com esse mesmo direito os

escolásticos da Idade Média explicavam as mudanças de temperatura por meio de uma 'vis calorífica' e de uma 'vis frigifaciens', fugindo assim a qualquer investigação ... (1979: p.s 51-52)

Ainda mais o conceito de força **distorce** o entendimento dos fenômenos quando os torna unilaterais. Todos os processos naturais são **relações**, logo processos bilaterais. Portanto, o que o conceito de força quer expressar nunca é totalmente uma força, pela menos não no sentido da própria Mecânica (para quem a uma ação sempre corresponde uma reação). Essa Ciência pode, porém, dar-se o luxo de utilizar tal conceito abstrato porque, nela, "consideram-se as causas do movimento como dadas: ninguém se preocupa com sua origem, mas apenas com seus efeitos" (ENGELS, 1979: p. 55). O conceito de força obscurece especialmente a noção de movimento, colocando-o como **externo** à coisa, ao invés de apreendê-lo como interno, ou, simplesmente, como **automovimento**.

Não pretendemos porém dizer, com isso, que não haja nada de efetivamente real relacionado ao conceito de "força". Hegel apresenta uma interessante definição dialética desse conceito, afirmando que "força" é "a unidade negativa em que a contradição do todo e das partes se resolveu". Essa é uma definição surpreendente, pois vê a força como algo **interno**, não como coisa impingida externamente por qualquer poder estranho.

O materialismo histórico, portanto, apreende o movimento de uma forma mais abstrata que o materialismo mecânico. Este último toma um isolado. uma manifestação empírica movimento aspecto do deslocamento espacial) como sendo 0 movimento em geral. Diferentemente, o materialismo moderno chega à máxima abstração de movimento já imaginada pelo Homem.

Na visão do materialismo marxista, a forma fundamental de todo movimento é a **contradição**. A negatividade heraclítica é, nesse sentido, reafirmada e aprofundada por Marx e Engels. Nessa perspectiva, a oposição entre atração e repulsão deixa de ser vista como oposição entre duas forças e passa a ser concebida como a oposição entre **formas** elementares do movimento. Com efeito, todo e qualquer movimento

constitui-se em um intercâmbio de opostos, que devem se compensar entre si. Se ambos se equilibram, ou se um dos dois predomina, ou, ainda, se cada um dos opostos se transfere para uma parte distinta e isolada da matéria, então o movimento entra em colapso. Na concepção dialética, porém, essas possibilidades são excluídas de antemão.

Já HEGEL afirmara, sobre a tradicional dificuldade do pensamento habitual em compreender a contradição e o movimento, que "A ternura habitual para com as coisas ... que apenas cuida de que elas não se contradigam, esquece aqui ... que, com isso, a contradição não é resolvida, mas apenas empurrada para outro sítio, em geral, para a reflexão subjetiva ou exterior" (APUD LÊNIN, 1989: p. 128).

De fato, um dos preconceitos fundamentais da Lógica Aristotélica é o de colocar a **identidade** hierarquicamente acima da **contradição**, enquanto que é esta última a mais profunda. A contradição, vista comumente como contingência, ou até mesmo como aberração mórbida, é na verdade a raiz de todo o movimento e vitalidade. Mesmo a experiência sensível detecta coisas contraditórias, mas as coloca em geral como exceção, como mero deslocamento espacial de algo que é sempre idêntico a si. Mas a verdade é que, como já lembrava Heráclito na metáfora do rio, algo que se moveu no espaço não é mais o mesmo. "Algo só se move não na medida em que neste 'agora' está aqui e num outro 'agora' está ali, mas na medida em que num e mesmo 'agora' está aqui e não ali, na medida em que neste aqui simultaneamente é e não é ... O movimento é a contradição existindo" (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 132).

Portanto, conforme acentua LÊNIN, a definição dialética de movimento corresponde a uma concepção "de movimento de moto próprio, autônomo, espontâneo, **interno-necessário**" (1989: p. 132).

É justamente por conceber o movimento como atributo fundamental da matéria que o materialismo moderno concebe a relação sujeito/objeto de forma radicalmente distinta do materialismo anterior – este último muito bem sintetizado no empirismo em suas diversas manifestações.

O empirismo vê a relação sujeito/objeto de forma estanque. Ele não a concebe como uma oposição dialética em permanente mudança e

desenvolvimento, mas apenas como uma indissolúvel antinomia. É em decorrência dessa concepção de relação sujeito/objeto que o empirismo, como vimos anteriormente, sempre viveu embaraçado com a noção puramente ilusória de uma "substância material" à parte do pensamento. Para o materialismo histórico tal substância não existe, pois, tal como Hegel já o declarara, já ela é mediação, já ela é coisa do pensamento.

A concepção de uma "substância material" apartada do pensamento – calcanhar-de-aquiles do empirismo, que em última instância o levou ao agnosticismo – é criticada por Marx e Engels por tornar o pensamento meramente passivo, contemplativo, isto é, por fazer do pensar em geral algo essencialmente **exterior** à coisa (coisa esta que, não sem razão, logo se tornaria "em-si").

Segundo Marx, isso decorre do fato de que o materialismo vulgar não compreende o mundo sensível como atividade prática.

A principal insuficiência de todo o materialismo até os nossos dias ... é que as coisas, a realidade, o mundo sensível são tomados apenas sob a forma do **objeto** ou da **contemplação**, mas não como atividade sensível humana, **práxis**, não no sentido subjetivo. Por isso aconteceu que o lado ativo (do pensamento) foi desenvolvido, em oposição ao materialismo, pelo idealismo – mas apenas abstratamente, pois que o idealismo naturalmente não conhece a atividade sensível, real, como tal. Feuerbach quer objetos sensíveis realmente distintos dos objetos do pensamento; mas não toma a própria atividade humana como atividade objetiva. (MARX, 1982b: p. 1)

De fato, também Lênin, em seus estudos sobre Hegel, chamava atenção para o fato de que o conceito abstrato de matéria é como tal não mais que uma abstração, algo sem existência efetiva no sentido de ser dado à intuição. Citando HEGEL, ele afirma: "Quando se abstrai de todas as determinações, de toda forma de um algo, resta a matéria indeterminada" (APUD LÊNIN, 1989: p. 135). Ou seja: a matéria em geral, como identidade consigo própria sem qualquer forma ou determinação, é puramente abstrata. O que é dado à percepção sensível é a matéria determinada, isto é, a matéria na sua unidade com a forma. A matéria indeterminada (o mesmo que a 'coisa-em-si') é abstração vazia de determinação, e **por isso é de fato incognoscível** – mas o é somente no

sentido de que nela nada há que se conhecer, a não ser o fato de que é inteiramente desprovida de qualquer determinidade ou qualidade.

Portanto, o grande problema do antigo materialismo está em conceber a realidade extra-mental como sendo **mais real** do que o próprio pensamento, o que tornava este último passivo, meramente contemplativo. A radicalização desse ponto de vista leva, em Hume e Kant, à completa impotência do pensamento: o puro agnosticismo.

Já Hegel superara criticamente esse ponto de vista. Troçando dele, afirmava o grande filósofo alemão:

"É apenas um conceito!", costuma-se dizer, quando se lhe contrapõe não apenas a Idéia, mas a existência palpável, sensível ... como algo que fosse mais excelente que o conceito. Considera-se então o abstrato como menor do que o concreto, porque nele haveria sido deixada de parte muito dessa matéria. O abstrair, segundo essa opinião, tem a significação de que, apenas para nosso uso subjetivo, foi tirado do concreto um ou outro caráter, de tal modo que, com o deixar de parte de tantas propriedades ... do objeto, nada lhe deve ter sido cortado no que toca ao seu valor e à sua dignidade ... de tal modo que seria apenas incapacidade do entendimento não recolher semelhante riqueza e ter de se concentrar com a indigente abstração. Ora, se a matéria dada da intuição e da representação são tomadas, face ao pensado e ao conceito, como o real - é esta uma perspectiva cujo abandono é ... condição do filosofar ... O pensamento abstrativo é de considerar, portanto, não como mero por de lado da matéria sensível ... mas ele é antes o superar e a redução dela, como puro fenômeno, ao essencial ... no conceito. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p.s 154-155)

Do exposto acima, pode-se desde logo depreender que a gnoseologia do marxismo **não** é empírica. Ao contrário disso, a visão de mundo inaugurada por Marx e Engels tem como núcleo a própria dialética hegeliana. Mas esta última comparece agora livre das idiossincrasias do **sistema** hegeliano. Esse sistema entrava muitas vezes em contradição com seu método, ficando o "lado revolucionário ... abafado sob o lado conservador que o afixia" (ENGELS, 1982: p. 382).

De fato, a necessidade de construir um sistema filosófico fechandoo, como de praxe, com uma verdade absoluta, fez Hegel declarar seu próprio sistema como um dogma. Assim, sempre desenhou-se em torno da filosofia de Hegel uma contradição entre os que respaldam-se em seu sistema (conservador) e os que privilegiam seu **método** (revolucionário). Já na década de 30 do século passado essa cisão se encontrava bem acentuada entre os seguidores da doutrina de Hegel na Europa. Nesse período, a ala esquerda – a dos chamados jovens hegelianos, que privilegiavam o método hegeliano – serviu de ante-sala da filosofia marxista.

Portanto, há enorme identidade epistemológica entre Hegel e o materialismo moderno. E, ao contrário do que pensam muitos, o mesmo não ocorre com a relação entre esse mesmo materialismo e o empirismo.

De fato, em crítica ao ponto de vista da gnoseologia empírica, afirma Marx na "Introdução à Crítica da Economia Política":

Parece que o correto é começar pelo real e pelo concreto, que são a pressuposição prévia e efetiva; assim, em Economia, por exemplo, começar-se-ia pela população, que é a base e o sujeito do ato social de produção como um todo. No entanto, graças a uma observação mais atenta, tomamos conhecimento de que isso é falso. A população é uma abstração se desprezarmos, por exemplo, as classes que a compõem ... Assim, se começássemos pela população, teríamos uma representação caótica do todo, e ... através de uma análise, chegaríamos a conceitos cada vez mais simples; do concreto idealizado passaríamos a abstrações cada vez mais tênues até atingirmos determinações as mais simples. (MARX, 1982a: p. 14).

Portanto, a maior deficiência do empirismo está em não perceber que o concreto imediato não nos é "dado", não está "fora" do pensamento, mas é ele próprio representação, e, portanto, **atividade** do pensamento. A "população" não é uma concreção, mas, ao contrário, uma abstração, e ademais caótica, do todo.

Neste ponto é inevitável recordar um trecho de HEGEL a respeito do processo de análise, que desenvolve idéia semelhante à exposta acima:

O processo de analisar uma **representação**, tal como comumente era conduzido, consistia somente na supressão da forma do seu serconhecido. Dividir uma representação nos seus elementos originais é remontar aos seus momentos que, como condição mínima, não tenham a forma de representação previamente encontrada mas constituam a propriedade imediata do Si. Essa análise chega, na verdade, a **pensamentos** que são determinações já conhecidas, firmes e bem assentadas. Mas este separado, sendo ele próprio inefetivo, é um momento essencial, pois, somente pelo fato de que o concreto se divide e se faz inefetivo, ele é o que se move. (1991, p. 205)

Para MARX, igualmente, o método exato é aquele que percebe que

"O concreto é concreto porque é síntese de muitas determinações, isto é, **unidade do diverso**. Por isso o concreto aparece no pensamento como o processo da síntese, como o resultado, não como o ponto de partida, ainda que seja o ponto de partida efetivo e, portanto, o ponto de partida também da intuição e da representação. No primeiro método (o empírico), a representação plena volatiliza-se em determinações abstratas; no segundo, as determinações abstratas conduzem à reprodução do concreto por meio do pensamento" (1982 a: p. 14).

Comparemos esse trecho de Marx com a crítica de Hegel ao método indutivo. Para este último, o indutivismo

encobre o engano do conhecer que admitiu unilateralmente experiências através das quais ele somente podia chegar às suas definições e **princípios simples** – e, com isso, elimina a refutação a partir da experiência, uma vez que toma e faz valer essa experiência, não na sua totalidade concreta, mas como exemplo, e, decerto, pelo lado que aproveita às hipóteses e à teoria. Nesta subordinação da experiência concreta às determinações pressupostas a base da teoria obscurece-se, é mostrada apenas pelo lado que está conforme à teoria. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 190)

Do exposto acima podemos depreender o caráter essencialmente dedutivo da gnoseologia dialética. Quer isso dizer que o raciocínio dialético utiliza-se largamente do procedimento de abstração científica, isto é, do procedimento de partir sempre das propriedades mais gerais, da abstração mais primordial, ou simplesmente da essência – aquilo que a coisa tem de comum em qualquer de suas manifestações – indo dela a propriedades mais específicas e demonstrando em que condições essas propriedades mais específicas se manifestam. Segundo MARX, "O método que consiste em elevar-se do abstrato ao concreto não é senão a maneira de proceder do pensamento para se apropriar do concreto, para reproduzilo como concreto pensado" (1982 a: p. 14). HEGEL afirma coisa bastante semelhante ao postular que o método "é o conceito puro que se relaciona apenas consigo próprio ... Mas também há o Ser preenchido, o conceito que se concebe a si próprio, o Ser como totalidade concreta" (APUD LÊNIN, 1989: p. 208). É notável, aqui, o fato de que já Hegel pressupunha

a noção de totalidade concreta, embora ainda não a tivesse como elemento essencial de seu pensamento.

Mas, a partir do exposto acima, chegamos à surpreendente conclusão de que, **no âmbito do conhecimento**, o pensamento efetivamente "**produz**" o real. Não no sentido subjetivo, segundo o qual qualquer pensamento já é só por isso verdadeiro (o pensamento inverdadeiro é justamente aquele que se concebe autônomo do real), mas no sentido de que o Homem produz o mundo muito mais do que este produz o Homem. O pensamento, portanto, cria a realidade no sentido de que ele **também** é atividade prática.

Se a divisão do trabalho havia engendrado a noção de um pensamento apartado da atividade prática (concebendo esta última apenas no sentido corporal), é a própria prática social que restitui o pensamento à realidade.

... O movimento das categorias aparece como o ato de produção efetivo – que recebe infelizmente apenas um impulso do exterior -, cujo resultado é o mundo, e isso é certo ... na medida em que a totalidade concreta, como uma **totalidade de pensamentos**, como um **concreto de pensamentos**, é de fato um produto do pensar, do conceber; não é (porém) de modo nenhum o produto do conceito que pensa separado e acima da intuição e da representação, e que engendra a si mesmo, mas da elaboração da intuição e da representação em conceitos ... O sujeito real permanece subsistindo, agora como dantes, em sua autonomia fora do cérebro, isto é, na medida em que o cérebro não se comporta senão especulativamente, teoricamente. (MARX, 1982 a: p. 15)

Vindas da pena de um notório materialista como Marx, essas afirmações podem soar surpreendentes. Mas só o são se não lembrarmos que nelas reside a essência do **corte epistemológico** operado pelo marxismo com relação à filosofia anterior, para a qual ou a realidade existia apenas fora do pensamento, ou a realidade nunca existiu, e só o que existia era sempre o pensamento.

A elaboração materialista histórica traz em si, sem sombra de dúvida, diversos elementos herdados da gnoseologia hegeliana. Isso se demonstra pelas afirmações de Hegel a respeito do progresso do conhecimento:

O conhecer corre de conteúdo em conteúdo. Em primeiro lugar, este prosseguir determina-se pelo fato de começar com determinidades simples e por as seguintes serem sempre mais ricas e mais concretas. Pois o resultado contém o seu comeco e o decurso deste enriqueceu aquele com uma nova determinidade ... O conceito ... em cada estágio de ulterior determinação eleva toda a massa do seu conteúdo anterior, e, pelo seu prosseguir dialético, não só ele não perde nada nem deixa algo para trás, como traz consigo todo o adquirido e enriquece-se e condensa-se em si ... O mais rico é, portanto, o mais concreto e o mais subjetivo, e o que se retira para a profundidade mais simples é o mais poderoso e o mais abarcante ... É deste modo que cada passo do prosseguimento no determinar ulterior, na medida em que se afasta do começo indeterminado, é também uma retroaproximação dele e que, com isto, o que primeiro podia aparecer como diverso - o fundamentar regressivo do começo e o seu determinar progressivo ulterior - coincidem e são o mesmo. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 207)

O fundamento da identidade gnoseológica entre Hegel e o marxismo reside na determinação dos três momentos do conhecimento. Em Marx, esses momentos assumem a forma de intuição imediata, universal abstrato e concreto pensado. Para HEGEL (1991: p. 193), esse movimento **triádico** do pensamento consiste em sair da "imediatidade da vida substancial para a universalidade do pensamento da coisa em geral, apreendendo a concreta e rica plenitude segundo as determinidades, e indo desta universalidade à plenitude do conceito que penetra na profundidade da coisa".

Contudo, há uma condição para que possamos identificar plenamente o método dialético de Hegel ao de Marx e Engels. Conforme elucida Lênin, é necessário "descascar" Hegel para descobrir Marx.

De fato, o materialismo moderno representa uma **superação** do hegelianismo. Não porém no sentido de que essa filosofia foi simplesmente negada e deixada de lado. Ao contrário, conforme explica ENGELS,

Não se vence uma filosofia simplesmente com o declará-la falsa. E uma obra tão poderosa como a filosofia de Hegel ... não se deixou pôr de lado pelo fato de se a ignorar sem mais. Ela tinha de ser superada em seu próprio sentido, isto é, no sentido em que sua forma fosse criticamente aniquilada, mas o novo conteúdo através dela ganho fosse salvo. (1982, p. 387)

De fato, Marx alerta para o fato de que a maneira de proceder do pensamento, indo do mais abstrato ao mais concreto para reproduzir a realidade sob a forma de concreto pensado, deixa-nos com a falsa impressão de que esse é o processo de **gênese** do próprio concreto. "Por isso é que Hegel caiu na ilusão de conceber o real como resultado do pensamento que se sintetiza em si, se aprofunda em si e se move por si mesmo ... Mas este não é de modo nenhum o processo de gênese do próprio concreto" (MARX, 1982 a: p. 14).

MARX alerta ainda para o fato de que as categorias mais abstratas,

apesar de sua validade para todas as épocas, são, contudo ... igualmente produto de condições históricas ... A sociedade burguesa é a organização histórica mais desenvolvida, mais diferenciada da produção. As categorias que exprimem suas relações ... permitem penetrar na articulação e nas relações de produção de todas as formas de sociedade desaparecidas, sobre cujas ruínas e elementos se acha edificada, e cujos vestígios, não ultrapassados ainda, leva de arrastão desenvolvendo tudo o que antes fora apenas insinuado ... (Da mesma forma) a anatomia do Homem é a chave para a anatomia do macaco. (1982 a: p. 17)

Ou seja: apesar das mais abstratas categorias terem valido desde sempre e muito antes de serem descobertas (o capital, por exemplo, tinha na Idade Média a forma menos desenvolvida de propriedade fundiária), é porém o avanço da **prática social** que cria as condições para que essas categorias sejam intuídas como tais, isto é, como conceitos do pensamento.

O idealismo hegeliano, portanto, sucumbe diante da noção de prática social. É verdade que essa noção já estava pressuposta em Hegel, por entremeio de sua linguagem tão obscura quanto uma opalina. Em Marx, porém, a idéia de Prática Social não só é formulada de modo claro, como também exposta junto de todas as suas inevitáveis conseqüências.

Com o marxismo, portanto, o **sistema** hegeliano é subjugado. Porém, o **núcleo** revolucionário da epistemologia hegeliana é não só preservado, como também elevado a um novo patamar. Marx resume essa superação ao afirmar:

A questão de saber se ao pensamento humano pertence a verdade objetiva não é uma questão da teoria, mas uma questão **prática**. É na práxis que o ser humano tem que comprovar a verdade, isto é, a realidade e o poder, o caráter terreno do seu pensamento. A disputa sobre a realidade ou não-realidade de um pensamento que se isola da práxis é uma questão puramente escolástica (MARX, 1982b: p. 1).

Marx inaugurou a primeira forma realmente consequente de encarar o materialismo – sem desprezar a atividade do pensamento, mas ao mesmo tempo colocando-a como parte do mundo real. Com isso, a dialética de Hegel, baseada no automovimento do conceito, era invertida. Passava-se a ver o real não como imagem do conceito, mas o conceito como elaboração imagética do real.

ENGELS ressalta que a principal refutação de Kant e de todo o agnosticismo não é nem tanto a **teórica**, fornecida pela obra de Hegel, mas a própria **prática** social, através da "experimentação e da grande indústria". "Quando podemos demonstrar a correção de nossa concepção de um processo natural ... produzindo-o a partir das suas condições, fazendo-o, acima de tudo, tornar-se utilizável para objetivos nossos, põese fim à inapreensível "coisa-em-si" de Kant ... A "coisa-em-si" tornou-se coisa-para-nós" (1982: p. 389).

Para o mesmo ENGELS, a Ciência Natural e a indústria, com seu progresso impetuoso, foram as responsáveis pelo rápido avanço da filosofia nos últimos séculos, a ponto de esta abdicar de si própria enquanto conhecimento autônomo para se imiscuir de vez na Ciência. Nos materialistas isso se deixava ver desde logo, "mas também os sistemas idealistas se encheram cada vez mais com um conteúdo materialista e procuraram conciliar a oposição entre espírito e matéria panteisticamente, de modo que, finalmente, o sistema de Hegel representou apenas um materialismo, segundo método e conteúdo idealisticamente posto de cabeça para baixo" (1982: p. 390).

O desenvolvimento da Filosofia culmina portanto na noção de Prática Social, essência da objetividade do conhecimento no materialismo moderno. Dissemos acima que essa noção já era pressuposta em Hegel em sua obscura linguagem idealista. Vejamos de que modo.

Hegel colocava o **conhecer** (lado teórico da prática) e o "**bem**" ou "**querer**" (atividade ou "Idéia" prática) como as duas formas essenciais de supressão da unilateralidade subjetividade/objetividade.

(O conceito) tem de novo, como algo de subjetivo, o pressuposto de um ser-outro que é em si (a coisa-em-si); ele é o **impulso** ... que ... se quer dar objetividade, e efetuar-se no mundo objetivo. Na Idéia teórica, o conceito subjetivo ... está contraposto ao mundo objetivo, do qual retira ... o preenchimento. Na Idéia prática, porém, ele está diante do real como algo de real; a certeza de si próprio – que o sujeito no seu estar em-e-para-si tem –, é, porém, uma certeza da sua **realidade** e da **irrealidade** do mundo ... (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 192)

LÊNIN completa este trecho de Hegel comentando que "A consciência do Homem não só **reflete** o mundo objetivo como o **cria**" (1989: p. 192), já que, não satisfeito com o mundo, o Homem decide modificá-lo.

HEGEL fornece sínteses ainda melhores sobre a Prática Social:

O conhecer sabe-se apenas como apreender, como a identidade ... do conceito consigo próprio; o preenchimento, isto é, a objetividade determinada em e para si, é para ele um dado e aquilo que é verdadeiramente é a realidade objetiva existente independentemente do pôr subjetivo. Para a Idéia prática, pelo contrário, esta realidade efetiva, que está simultaneamente defronte dela como invencível limitação, vale como um em e para si nulo, que só deve receber a sua determinação verdadeira e único valor através dos fins do Bem (da Prática). A **vontade**, portanto, só é um empecilho para o alcançar do seu objetivo por se **separar do conhecer** ... A Idéia do Bem pode, portanto, encontrar o seu complemento somente na Idéia do verdadeiro. (APUD LÊNIN, 1989: p.s 194-195)

Diz ainda HEGEL: "Se o fim do Bem não devesse, contudo ... ser efetuado, isso seria uma recaída do conceito no ponto de vista que o conceito tem antes da sua atividade – (o) ... da realidade efetiva determinada como nula, e, contudo, pressuposta como real ..." (APUD LÊNIN, 1989: p. 196). É exatamente assim que Kant e todo o empirismo pressupõem sua realidade: morta, invencível e imutável pelo conceito em sua atividade. Em comentário a esse respeito Lênin acentua o fato de que o não-cumprimento dos fins tem por causa a suposição de uma realidade

não-existente como efetiva, ao passo que a única realidade efetiva é aquela a ser transformada.

Do ponto de vista da dialética, ao contrário da Metafísica acima descrita, "na medida em que, pela atividade do conceito objetivo, a realidade efetiva exterior é **mudada** e a sua determinação é, assim, superada, é-lhe precisamente por esse fato tirada a realidade meramente aparente, a determinidade exterior e a nulidade ..." (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 196).

Aqui é possível perceber em Hegel o florescimento de um materialismo velado, expresso na concepção da **prática social** (o 'Bem') como o verdadeiro **critério de verdade**. Dito por ele próprio:

No resultado a mediação supera-se a si própria, é uma imediatidade que não é o restabelecimento da pressuposição, mas antes o ser-superado dela. A idéia do conceito determinado em e para si está, com isso, posta, não apenas meramente no sujeito ativo, mas ... como uma realidade efetiva imediata, e, inversamente, esta, tal como é no conhecer, está posta de maneira a que seja **objetividade** que é verdadeiramente. (HEGEL APUD LÊNIN, 1989: p. 197)

A atividade prática é, portanto, a pura negatividade, pois trata-se de algo ao mesmo tempo real e irreal. A contradição só desaparece quando a prática supera a subjetividade do fim, e, com ela, toda a oposição entre subjetividade e objetividade. Nesta oposição, ambas são **finitas**. Vistas em sua unidade, são **infinitas**.

Portanto, conforme assinala LÊNIN em comentário às afirmações acima de Hegel, a Idéia Absoluta não é mais que a unidade da Idéia teórica com a Idéia prática, unidade que se estabelece "precisamente na **Teoria do Conhecimento**" (1989: p. 197). A Teoria do Conhecimento é portanto a própria Prática Social vista como conjunto e como processo, isto é, em sua unidade plena.

Concebendo a Prática Social desta forma, como a própria racionalidade em seu conjunto, o materialismo moderno põe fim à filosofia em seu tradicional sentido especulativo. Vista dessa perspectiva, a Filosofia é desalojada da Ciência pela moderna dialética. Já HEGEL dizia: "Trabalhar no sentido de que a Filosofia se aproxime da forma da

Ciência – e da meta na qual ela possa deixar seu nome de 'amor do saber' e ser saber efetivo – eis o propósito que me atribuí" (HEGEL, 1991: p. 193).

Mas é a ENGELS que passamos por fim a palavra, para que possa completar de forma ainda mais contundente o que disse acima Hegel:

Abandona-se a verdade "absoluta", inalcançável ... por cada um individualmente, e, em troca, perseguimos as verdades relativas alcançáveis pela via das ciências positivas e do compêndio dos seus resultados por intermédio do pensar dialético. Com Hegel remata-se, em geral, a filosofia; por um lado, porque ele reuniu todo o desenvolvimento dela no seu sistema ... por outro lado, porque ... ele nos mostra o caminho deste labirinto dos sistemas (filosóficos) ao conhecimento positivo real do mundo. (1982, p. 384)

"Vou pra rua e bebo a tempestade"

Chico Buarque.

O século XX certamente será lembrado, no futuro, como um período conturbado. De um lado, nosso tempo é marcado pelas "trevas" da crise social sem precedentes. De outro, pelas "luzes" das imensas possibilidades anunciadas tanto pelo acúmulo científico e tecnológico quanto pela mobilização de forças sociais transformadoras. A humanidade tem de fato, neste século, percorrido uma trilha repleta de avanços e recuos, por onde o progresso caminha de mãos dadas com a crise.

Disso depreendemos ser nossa época essencialmente **contraditória**. Isso se reflete naquilo a que muitos costumam chamar de "crise de paradigmas" – expressão que, sem explicar muita coisa, não faz mais que acentuar em nossa época um certo caráter "fantasmagórico".

A tal "crise de paradigmas" corresponde, na verdade, a um período em que a humanidade prepara seu salto para novas e mais avançadas **visões de mundo**. Não se trata, pois, de uma crise crônica de velhice, mas daquele estado de dúvidas e incertezas tão próprio de qualquer puberdade bem vivida.

Esse estado de coisas reflete-se bem na revolução que vem sendo operada pelas novas disciplinas da Ciência, em geral nascidas no século XX, embora algumas, como a Termodinâmica, possam ter suas raízes fincadas no século XIX.

ENGELS, falando-nos a partir do século passado, já prenunciava essa revolução ao verificar que, na Ciência,

Tudo aquilo que se considerava rígido, se havia tornado **flexível**; tudo quanto era fixo, foi posto em **movimento**; tudo quanto era tido por eterno, tornou-se **transitório**; ficara comprovado que toda a natureza se movia num eterno fluxo e permanente circulação. Dessa forma, voltava-se às concepções dos grandes fundadores da filosofia grega ... Tudo isso, apenas

com uma diferença essencial: tudo quanto, entre os gregos, era uma intuição genial, tornou-se agora para nós o resultado de uma investigação severamente científica, ligada à experiência, e, por conseguinte, o conhecimento se apresenta sob uma forma muito precisa e clara. (1979: p. 23)

A noção termodinâmica de **entropia** dá razão a Engels. De fato, a definição do conceito de entropia como um princípio de potência, endemicamente presente em todas as coisas e processos do mundo, é suficientemente abstrata para atestar a proeminência do **movimento** como atributo inseparável, interno e indestrutível da matéria.

Já ENGELS afirmava, referindo-se à 1ª Lei Termodinâmica, que "A moderna ciência natural ... (adotou) da filosofia o princípio da **indestrutibilidade** do movimento ... o movimento da matéria não é apenas o grosseiro movimento mecânico, a simples mudança de lugar; é calor e luz, tensão elétrica e magnética, associações e dissociações químicas, vida e, finalmente, consciência" (1979: p. 28).

O conceito de entropia traz de fato elementos novos ao velho problema da disputa entre concepções **dialéticas** e visões de mundo **metafísicas**, apoiadas no princípio de identidade. Zenão de Eléia, por exemplo – que afirmava a impossibilidade do movimento a partir da premissa de que as linhas não eram mais que composições de pontos –, certamente ficaria surpreso se tivesse podido conhecer o princípio entrópico, já que sua afirmação sobre a impossibilidade do movimento remete à "hipótese de equilíbrio".

O conceito de entropia parece ir em sentido oposto ao do enunciado de Zenão: pontos não são mais que intersecções de linhas, e não o contrário. O descanso, portanto, é caso especial de movimento, e o equilíbrio não é mais que caso limite de processo irreversível.

A Física Clássica não cultivava essa visão. Para ela, o natural era o estático e o inerte, e a mudança irreversível era o que requeria explicação especial. Mas, quando a estrutura conceptual tem como pressuposto a irreversibilidade, o movimento é justamente o que não precisamos explicar.

Essa visão das coisas chega mesmo a conferir plausibilidade à concepção evolucionista de Heráclito e Empédocles, elaborada há um punhado de séculos. Empédocles havia chegado a desenhar uma cosmologia com certo nível de complexidade, na qual duas forças opostas (Éris e Philia) tensionavam a matéria para momentos-limite de máxima **unidade** e de máxima **dispersão**, sendo essa contradição a fonte eterna da vitalidade e do movimento. Mais de dois milênios após, ENGELS continuava a enunciar: "É um eterno ciclo esse em que se move a matéria ... Nada é eterno a não ser a matéria em eterna transformação e eterno movimento, bem como as leis pelas quais se move e se transforma" (1979, p.s 29-30).

Também a Teoria da Informação já traz em si como elemento subjacente uma concepção de processo bem mais avançada que a das disciplinas mecânicas do século XVIII. Em função disso, essa teoria adota uma idéia flexível de **objetividade** como uma categoria essencialmente **gnoseológica**, isto é, sem qualquer existência para além dos limites do conhecimento e da relação sujeito/objeto. Subjaz à Teoria da Informação a idéia de que a garantia de conhecimento objetivo não está na materialidade do objeto em si, ontologicamente concebido. Ao contrário, a objetividade do conhecimento respalda-se, como já afirmara Hegel, no impulso do conhecimento para preencher-se com conteúdo real, isto é, na 'vontade de realidade' que faz o conhecimento trabalhar nos limites da relação certeza/incerteza.

Mas de onde vem esse impulso? Qual sua realidade? Trata-se de um "princípio transcendental"? Na obscura linguagem hegeliana parece que sim. Mas o mesmo não ocorre com Marx, que esclarece ser esse "impulso" oriundo da necessidade – esta sim ontológica – de **transformação da realidade** pelo Homem. Nunca é demais recordar a afirmação de Marx segundo a qual "O sujeito ... está dado tanto na realidade efetiva quanto no cérebro" (1982 a: p. 18).

Esse novo materialismo, de caráter histórico, interpreta as diversas disciplinas científicas em sua **totalidade**, isto é, como "pontos nodais" do avanço das forças produtivas e da organização social. Concebe-as,

portanto, não como disciplinas 'neutras', mas como manifestações particulares, finitas e relativas da racionalidade humana como um todo. A essência dessa racionalidade é a transformação constante do mundo; daí porque as diversas ciências particulares trazem fortes impactos para a organização social e para a constituição de novas visões de mundo. Não, porém, no sentido do "determinismo tecnológico", idéia corrente segundo a qual o avanço da tecnologia teria "fugido ao controle" do Homem, subordinando qualquer tentativa de transformação social ousada e conseqüente. O "determinismo tecnológico" – pilar de sustentação do discurso "globalizante" – supõe que a tecnologia é algo como uma "força oculta" que subleva o Homem, quando, ao contrário, é a racionalidade humana que deve subordinar a seus fins o avanço tecnológico.

O materialismo renascentista já conhecia o método histórico de Vico e, mesmo, a tríade dialética do escolástico Nicolau de Cusa. Portanto, o materialismo moderno não é a primeira mentalidade **histórica** a se desenvolver. Porém, é certamente a mais profunda e conseqüente das ideologias materialistas já desenvolvidas.

Assim como o **materialismo antigo** (de cunho metafísico) – firmemente assentado no princípio de identidade – tornou-se senso comum, o **materialismo histórico** (de cunho dialético), também está fadado a, com o desenvolvimento da Ciência e o progresso social, tornar-se um dia uma concepção de uso comum. Quando isso acontecer, a humanidade estará munida com as ferramentas ideológicas de base para a construção de uma sociedade em constante auto-superação, pois todo e qualquer resultado da razão será tornado inútil se o considerarmos absoluto.

É possível perceber o materialismo moderno irrompendo por entre a Ciência do século XX. Já no século passado afirmava ENGELS: "As leis eternas da Natureza se transformam, cada vez mais, em leis históricas" (1979: p. 184). O grande pensador alemão dizia ainda: "A concepção metafísica tornou-se impossível, na Ciência da Natureza, devido ao próprio desenvolvimento desta" (1979: p. 201).

De fato, essa revolução de princípios, aludida por Engels, atravessou de parte a parte a Ciência do século XX, e estaríamos redondamente enganados caso pensássemos que tal transformação está **completa**. A História, ciência-mestra ao lado da Filosofia, confere-nos a respeito disso maior largura de entendimento. Ela demonstra, de modo absolutamente inequívoco, que a crise do período renascentista, na qual gestavam-se novas visões de mundo, não durou anos e nem mesmo décadas, mas séculos inteiros.

Nesse período eram revolvidas estruturas profundas do pensamento, e **dois caminhos** abriam-se: o do ceticismo/agnosticismo e o da crença inabalável (às vezes ingenuamente otimista) nas possibilidades do conhecimento. Coisa semelhante parece ocorrer hoje.

Nessa perspectiva, a Teoria da Informação, enquanto objeto de análise epistemológica, tem recebido interpretações variadas, no mais das vezes contraditórias. De fato, como tudo, ela é produto da mentalidade de seu tempo, sendo assim suscetível a interpretações de cunho agnóstico, mas também a visões contrárias, dado que guarda elementos da mentalidade contraditória de seu tempo.

Como vimos no decorrer de nosso percurso, a noção de informação leva ao **limite** a reflexão gnoseológica ao forçá-la a pensar a realidade de uma entidade sem existência empírica, a qual, não obstante, é inegável que conhecemos, na medida em que somos capazes de formular leis que **prescrevem** seu comportamento.

Para muitos, porém, a informação não passa de abstração heurística, sendo suas leis nada mais que determinações **subjetivas**, impostas pelo próprio pensamento. Dentro dessa tendência, há os que vêem no princípio da razão de transmissão **limitações genuínas** relativas ao conhecimento. Na tendência oposta, alguns autores, na tentativa de defender a objetividade da informação, afirmam-na como uma espécie de "**substância**", sem muitas vezes se darem conta dos contrasensos gerados por esse noção na História da Filosofia. A nosso ver ambas as tendências constituem-se nos lados de uma mesma moeda, pois, como vimos

anteriormente, a afirmação de uma "substância" apartada do pensamento é, em última instância, o que resultou no agnosticismo.

Zeman expressa bem o fato a que nos referimos. Para ele, o objeto do conhecimento e seu reflexo na percepção são indissociáveis, mas não idênticos. Partindo desse princípio (de aparência desde já **dualista**), Zeman afirma que o mundo como um todo é um sistema sempre mais complexo e rico que sua imagem na cognição, sendo portanto a capacidade informativa humana relativamente limitada.

Com base no percurso filosófico que realizamos no capítulo anterior, cremos ter demonstrado que essa idéia conduz facilmente ao agnosticismo. Senão vejamos o que o próprio ZEMAN diz mais à frente:

A complexidade e variedade de relações é reduzida na cognição. Certos aspectos do contexto global são isolados e removidos do fluxo do tempo. O contínuo é transformado em descontínuo, o indivisível em divisível, o total em parcial ... A degradação da informação sempre se estabelece ... Isso procede da divisão entre objetivo e subjetivo, entre o original e a imagem (1975: p.s 248-249).

ZEMAN conclui, com isso, que "A cognição está **confinada** às características **espaço-temporais** do Homem" (1975: p. 249). Para ele, o parâmetro de limitação e perda de informação não era levado em conta na Ciência do Séc. XVIII, quando era grande a voga da idéia de que a cognição real era absolutamente precisa. Mas a negação simples desse pressuposto indica que, na verdade, é ele quem permanece como hipótese implicitamente adotada. A idéia de que o conhecimento é absoluto não deve ser "negada", mas **superada**, elevada a um novo patamar.

As opiniões de Zeman, expostas acima, em praticamente nada diferem do transcendentalismo kantiano. Em nossa visão, tais opiniões são decorrências lógicas dos pressupostos empíricos firmados, e, em particular, o de que "o objeto é mais rico que seu reflexo na cognição". Jaz na superfície dessa idéia uma aparência de profundidade e de extrema correção. Nada mais falso, como nos revela a História da Filosofia.

Já Hegel afirmara que não há uma "substância" mais rica que o pensamento, pois já essa substância **é coisa** do pensamento. Logo, o mais

rico será sempre a coisa do pensamento, pois é este que se eleva acima do real para subjugá-lo na abstração.

Portanto, não é a suposta "realidade" o elemento mais rico e ativo. Ao contrário. A coisa mais rica do mundo é mesmo o ser humano. Somos nós que, através da abstração (muitas vezes considerada "indigente" em comparação com o real), reduzimos a realidade à sua essência com a finalidade de agir sobre ela. O pensamento concebido como coisa "fora da substância" é mera realidade **metafísica**, morta, vazia, aconceptual e inefetiva. De fato, o pensamento é **também** parte da "substância", parte que, diga-se de passagem, só existe para transformar a própria substância.

Além disso, como podemos dizer que um objeto é mais rico que seu reflexo se tudo que podemos saber sobre esse objeto se dá apenas através do reflexo? Essa é a **contradição central** do antigo materialismo, a qual, cedo ou tarde, teria que revelar-se.

Com efeito, não podemos jamais falar de um objeto em estado "puro", como coisa à parte do conhecimento. Aqui reside a essência do chamado "fim da Filosofia" – essência muito bem resumida no fato de que não podemos afirmar nada sobre o "Ser", a não ser aquilo que dele podemos conhecer.

É por isso que afirmar a **incognoscibilidade** de um objeto é uma contradição em termos. Pois, se não podemos conhecê-lo, como sabemos então que é incognoscível? Ademais, se podemos afirmar sobre o objeto pelo menos uma proposição – a de que ele é incognoscível – por que motivos não poderíamos afirmar outras? Essas contradições advêm do fato, afirmado por Hegel, de que a própria incognoscibilidade já é coisa firmada pelo pensamento, não podendo portanto jamais ser atribuída à "coisa" (muito menos "em-si").

Não há portanto quaisquer **limites** imputáveis ao conhecimento. Ou, dizendo melhor, esses limites são sempre **relativos**, enquanto que o caráter **ilimitado** do conhecimento é **absoluto**.

Aos agnósticos para quem a percepção e a linguagem constituem-se em barreiras ao conhecimento, não custa relembrar a já citada afirmação de ENGELS a respeito de supostos limites sensoriais do conhecimento:

As formigas possuem olhos diferentes dos nossos: podem ver os raios luminosos químicos, mas, no que diz respeito ao conhecimento desses raios, invisíveis para nós, estamos muito mais adiantados que as formigas: somente o fato de que possamos demonstrar que as formigas vêem coisas para nós invisíveis, e que essa demonstração repousa apenas em percepções obtidas através de nossos olhos, só isso basta para mostrar que a constituição especial do olho humano não representa uma barreira absoluta ao conhecimento. (1979: p. 185)

A evolução do conhecimento, portanto, reduz **assintoticamente** a distância entre sujeito e objeto, embora não possa jamais eliminá-la completamente senão no infinito. O que rompe a dualidade entre forma (pensamento) e matéria (substância) é o desenvolvimento da **prática social**.

Essa nova concepção materialista, temperada no próprio avanço da Ciência e da Sociedade, reflete-se nas diversas disciplinas científicas do século XX, como a Teoria da Informação.

Os conceitos derivados dessas novas disciplinas científicas, como os de informação e entropia, relacionam-se invariavelmente ao rompimento com antigas formas, estáticas e mecânicas, de conceber tanto a **realidade** quanto o **conhecimento**. Consideramos lícito afirmar, até mesmo, que, enquanto anteriormente nossa visão de realidade (Ontologia) subordinava e em certa medida enclausurava nossa visão do conhecimento (Gnoseologia), hoje parece ser esta última aquela que efetivamente toma a palavra e dita os passos.

Com efeito, antes concebíamos a realidade como uma substância idêntica a si mesma, apartada do pensamento e a ele invariavelmente oposta. Bastava-nos apenas, assim, colher "amostras" dessa substância para conhecê-la. Assim, da mesma forma que quando estamos na infância, não víamos muitas dificuldades em qualquer coisa que se apresentasse.

Contudo, ao depararmos com as dificuldades e percalços inerentes ao conhecimento, começamos a perceber que nada é assim tão simples. De forma que nossas compreensões sobre o processo do conhecimento nos fizeram então perceber a imensa complexidade do mundo que nos rodeia. Era a **Teoria do Conhecimento** que, com isso, assumia a ponta, submetendo em definitivo a **Ontologia**.

É essa a essência do que denominamos anteriormente "**fim da Filosofia**". De fato, é o próprio desenvolvimento da Ciência que vai aos poucos mostrando inequivocamente que a Ontologia, em sua forma "pura", desvinculada da Ciência, degenera facilmente em pura metafísica.

Já Francis Bacon, em seu "A Grande Instauração", enunciava de modo visionário que, "um dia", os princípios da Ciência estariam de tal modo entranhados nas pessoas que constituiriam a própria estrutura do senso comum. Segundo Bacon, quando isso acontecesse seria possível remodelar toda Filosofia sobre a Ciência.

Mas Bacon apenas profetizava. Marx e Engels, ao contrário, anunciam que o dia esperado chegou.

BIBLIOGRAFIA

1. Sobre Teoria da Informação

- BRILLOUIN, L. Thermodynamics and Information Theory. *American Scientist Comunications*. V. 1311. P.s 594-599.
- EDWARDS, Elwyn. *Introdução à Teoria da Informação*. São Paulo: Cultrix, 1971. 151 p.s
- GOLDMAN, S. *Information Theory*. New York: Dover Publishers Inc., 1953. P.s 1 65; 286 311.
- MARCUS, Solomon. Language, Logic and Cognition A Semiotic, Computacional and Historical Approach. (Tese de Doutorado). Bucareste: mimeografado, 1995. P.s 152-172.
- MASER, Siegfried. Fundamentos de Teoria Geral da Comunicação. São Paulo: EDUSP, 1975. 241 p.s.
- MOLES, Abraham. *Teoria da Informação e Percepção Estética*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1969. 311 p.s.
- ORNSTEIN, D.S. Ergodic Theory, Randomness and 'Chaos'. *Science*. V. 243. P.s 182-186.
- PESSIS-PASTERNAK, G. (Org). *Do Caos à Inteligência Artificial*. 2 ed. São Paulo: Ed. UNESP, 1992. 259 p.s
- RUELLE, David. Acaso e Caos. 2 ed. São Paulo: Ed. UNESP, 1993. 224 p.s

- SHANNON, C. e WEAVER, W. *Teoria Matemática da Comunicação*. São Paulo: DIFEL, 1975. 136 p.s
- WICKEN, J. S. Evolution, Thermodynamics and Information Extending the Darwinian Program. New York: Oxford University Press, 1987. P.s 1 98.
- ZEMAN, J., WIENER, N., BONSACK, F. et alli. *A Noção de Informação na Ciência Contemporânea*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970. 221 p.s.
- ZEMAN, J. GAL-OR, B. DENBIGH, K.G. UYEMOV, A.I. HARRISON, M. et alli. *Entropy and Information in Science and Philosophy*. Praga: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975. 254 p.s

2. Sobre Filosofia:

- BRÈHIER, Émile. *História da Filosofia*. Tomo I, V. III. São Paulo: Mestre Jou, 1977-78. 250 p.
- BRÈHIER, Émile. *História da Filosofia*. Tomo II, V.I. São Paulo: Mestre Jou, 1977. 275 p.
- DESCARTES, R. O Discurso do Método. IN: *Os Pensadores*. São Paulo: Nova Cultural, 1991. 296 p.
- ENGELS, F. *A Dialética da Natureza*. 3 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979. 230 p.
- _____. Ludwig Feuerbach e o Fim da Filosofia Clássica Alemã. IN: Marx e Engels: Obras Escolhidas. V. (?). Portugal/URSS: Avante!/Progresso, 1982.

- FREIRE, Antônio. *O Pensamento de Platão*. Braga: Livraria Cruz, 1967. 334 p.
- HEGEL, G.W.F. Fenomenologia do Espírito (Prefácio). IN: *Os Pensadores*. V II. São Paulo: Nova Cultural, 1991. p.s 191-219.
- HERÁCLITO, EMPÉDOCLES et alli. Pré-Socráticos. IN: *Os Pensadores*. São Paulo: Nova Cultural, 1992. 230 p.s.
- IUDIN, P. ROSENTAL, M. Pequeno Dicionário Filosófico. São Paulo: Exposição do Livro, 1959. 603 p.
- KANT, I. A Crítica da Razão Pura. IN: *Os Pensadores*. V.I. São Paulo: Nova Cultural, 1991. 172 p.s.
- LARA, Tiago Adão. *A Filosofia nas suas Origens Gregas.* 3 ed. Petrópolis: Vozes, 1989. P.s 46-166
- LÊNIN, V.I. Conspecto do Livro de Hegel "Ciência da Lógica". IN: *V.I. Lênin:*Obras Escolhidas. V. 6. Portugal/URSS: Avante!/Progresso, 1989. p.s
 89-212.
- _____. Karl Marx Breve Nota Biográfica com uma Exposição do Marxismo. IN: *Lênin: Obras Escolhidas*. V. I. Lisboa: Avante!, 1981. P.s 1 27.
- _____. Friedrich Engels. IN: *Lênin: Obras Escolhidas*. V. I. Lisboa: Avante!, 1981. P.s 28 34.
- LOCKE, John. Ensaio sobre o Entendimento Humano. IN: *Os Pensadores*. São Paulo: Nova Cultural, 1991. P.s 1 – 212.

- MARQUIT, Erwin. Contradições na Dialética e na Lógica Formal. *Princípios*. N. 43. São Paulo: Anita Garibaldi, nov/dez 1996 jan/97. P.s 58-68.
- MARX, K. Contribuição à Crítica da Economia Política (Introdução). IN: *Os Economistas*. São Paulo: Abril Cultural, 1982a. P.s 3-21.
- _____. Contribuição à Crítica da Economia Política (Prefácio). IN: Os Economistas. São Paulo: Abril Cultural, 1982c. P.s 23-27.
- _____. Teses sobre Feuerbach. IN: *Marx e Engels: Obras Escolhidas*. V. I. Portugal/URSS: Avante!/Progresso, 1982b. P.s 1 a 3.
- MORRIS, Richard. *Uma Breve História do Infinito Dos Paradoxos de Zenão ao Universo Quântico*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998. 229 p.s
- PEREIRA, Maria Helena da Rocha. Introdução a "A República" de Platão. IN: *A República*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. P.s V-LIII.
- VERNANT, Jean-Pierre. *As Origens do Pensamento* Grego. 4 ed. São Paulo: DIFEL, 1984. 95 p.
- VITA, Luís Washington. *Pequena História da Filosofia*. São Paulo: Saraiva, 1968. 261 p.

3. Bibliografia Acessória:

GARCIA, O.M. *Comunicação em Prosa Moderna*. 15 ed. Rio de Janeiro: Ed Fundação Getúlio Vargas, 1992. 552 p.s.

NAHUZ, Cecília dos Santos, FERREIRA, Luzimar Silva. *Manual para a Normalização de Monografias*. São Luís: CORSUP/EDUFMA, 1989. 141 p.s.

ECO, Umberto. *Como se Faz uma Tese*. 14 ed. São Paulo: Perspectiva, 1996. 170 p.s.

422348 / 1250 = 337,00