

A TECNOLOGIA DO ANO 2.000

J. GOLDEMBERG

Fazer previsões sobre o futuro é muito arriscado. Em geral, quem as faz são sociólogos que fazem extrapolações; *extrapolações* são feitas baseadas em certas hipóteses de normalidade. Por exemplo, se a população nacional continuar crescendo a uma taxa de 3% ao ano, pode-se prever com bastante precisão qual vai ser a população no ano 2.000. Pode-se prever também com bastante precisão qual será a produção de alimentos e o desenvolvimento de outras atividades e fazer previsões terríveis sobre o que nos espera daqui a 30 anos.

Isso tem sido feito de uma maneira muito frequente nos últimos tempos. Há um livro famoso, de dois autores americanos Kahn e Wiener, no qual são feitas previsões sobre o mundo no ano 2.000; nele, o Brasil do futuro tem uma posição muito medíocre.

Do ponto de vista sociológico, as previsões que se podem fazer acerca do Brasil são muito pessimistas, mas creio que essas previsões todas têm um significado muito relativo, porque nos assuntos humanos existem variáveis totalmente imprevisíveis.

Um exemplo de fator imprevisível é o que ocorreu na Idade Média: subitamente, por volta do ano 1300 a população da Europa caiu à metade devido a um ciclo muito intenso de peste negra. Contrariamente a todas as especulações que possivelmente devem ter sido feitas pelos sociólogos da época esta diminuição da população foi seguida de um período de

* Conferência pronunciada na Faculdade de Filosofia Sedes Sapientae em 1969.

aproximadamente meio século de progresso bastante razoável.

Há portanto certas incertezas que são muito difíceis de se levar em conta e elas podem provocar o fracasso total de previsões dessa natureza.

Não pretendo discutir, absolutamente, previsões do tipo sociológico. Os regimes políticos, as guerras ou mesmo descobertas totalmente inesperadas, podem ter efeitos tão grandes sobre o que vai acontecer com a humanidade, que é muito difícil fazer previsões.

No entretanto, é possível dizer algumas coisas referentes ao que a tecnologia do futuro vai ser, e essas podem ser especificadas com bastante clareza por que o ano 2.000 está há apenas 30 anos de distância.

Possivelmente, mais da metade das pessoas que lerem este texto estarão em plena atividade profissional no ano 2.000. Daí a importância de se ter uma compreensão clara da relação atual entre a tecnologia e a ciência.

Creio que esta não é uma preocupação acadêmica; é uma preocupação que está na nossa mente quando ensinamos física introdutória na Universidade; o que estamos ensinando agora a nossos alunos, deve ser uma coisa que ainda seja útil no ano 2.000.

A tecnologia que utilizamos na nossa vida diária, é muito variada e quanto maior o nível de vida das populações, mais elas se beneficiam desta tecnologia. Acontece, porém, que quase toda a tecnologia que usamos nos dias de hoje, é baseada na ciência do século XIX.

Isso pode parecer um pouco peculiar porque em geral se faz muita publicidade das descobertas científicas do século XX. Com efeito, as descobertas deste século foram extraordinárias e fizeram progredir a ciência muito mais do que nos 35 ou 40 séculos que o precederam.

O nosso século teve a fortuna de ver o desenvolvimento da teoria da relatividade, que mudou a visão que se tem do tempo e do espaço. Neste caso, as nossas próprias concepções filosóficas mais básicas foram afetadas pelos avanços da física. No caso do desenvolvimento da teoria atômica e da mecânica quântica, ganhamos também uma compreensão muito diferente do

mundo que nos cerca.

Acontece, no entretanto, que a *tecnologia* dos nossos dias é basicamente a tecnologia da ciência do século XIX, e citarei inicialmente alguns exemplos convincentes disso. Enunciarei em seguida, algumas descobertas científicas do século XX, que serão muito importantes na tecnologia do ano 2.000 em minha opinião.

A ciência do século XIX se encerrou com a Mecânica totalmente formulada, incluindo as suas formas mais sofisticadas (equações de Lagrange, Hamilton e princípios variacionais).

Por outro lado, as equações de Maxwell foram estabelecidas por volta de 1870; os frutos dessas equações já tinham começado a se manifestar antes de 1900 sobretudo com a descoberta de Hertz das ondas eletromagnéticas. Motores de todos os tipos também haviam sido desenvolvidos antes do século XX.

Com a mecânica e o eletromagnetismo conhecidos, muito pouca coisa adicional é necessária para fazer instrumentos que tragam conforto e facilidades materiais.

Uma maneira muito mecanicista de medir o nosso conforto é a seguinte: números aproximados nos dizem que para ter um certo grau de conforto é necessário uma potência equivalente a um ou dois quilowatts de potência instalada. Para uma família, por exemplo, de 5 ou 6 pessoas, isso equivaleria a uma quantidade grande de força animal ou de escravos correspondentes.

O nosso conforto que parece tão grande (luz elétrica, fogões elétricos, fogões a gás, móveis que foram feitos por máquinas, meios de transporte, etc.), equivale a ter à nossa disposição aproximadamente um quilowatt de potência instalada, por pessoa.

Pode-se ter uma idéia do que é um quilowatt, pensando que uma lâmpada caseira consome aproximadamente 50 watts; como uma casa tem meia dúzia de lâmpadas, mais uma meia dúzia de aparelhos elétricos, ferro elétrico, etc. tem-se no fim das contas o consumo por pessoa citado acima.

Os automóveis naturalmente consomem bastante mais energia, mas carregam um grande número de pessoas, de modo que a potência média por pessoa dá o valor citado acima.

Todos esses benefícios tecnológicos, rádio, televisão, estão baseados na física clássica; para materiais de construção, isto é também verdadeiro. O ferro, por exemplo, foi usado amplamente no fim do século passado nos Estados Unidos e em grandes cidades como New York e ainda existem edifícios impressionantes de 80 a 100 andares, construídos há 40 anos.

Toda a física do século passado e a tecnologia resultante estão consolidadas em manuais de engenharia e existe a concepção em certas escolas de engenharia de que o que deve fazer é ensinar aos alunos a utilizar esses manuais. De fato, se os ensinarmos a utilizá-los adequadamente, eles poderão ser engenheiros satisfatórios: um indivíduo pode ser um engenheiro civil, extremamente satisfatório, mesmo que não conheça nada de mecânica quântica.

Onde os problemas surgem, e o ano 2.000 mostrará isso de uma maneira muito clara, é que os recursos materiais que existem não vão ser suficientes para continuar dando a uma população mundial que cresce rapidamente, o conforto necessário.

Citaremos aqui algumas das direções em que essa tecnologia vai se desenvolver, e porque razão esta tecnologia necessita da ciência moderna.

Os três grandes desenvolvimentos da física moderna neste século são:

- 1 — a teoria da relatividade;
- 2 — a teoria atômica da matéria;
- 3 — a mecânica quântica que substituiu a mecânica clássica e que é adequada para descrever os fenômenos que ocorrem no nível microscópico da matéria, isto é, no interior dos átomos ou entre os átomos.

O exemplo mais claro de um fruto da ciência moderna é a construção da bomba atômica.

Com efeito: é preciso a teoria da relatividade para saber que a matéria pode se transformar em energia, isto é, pode ser liberada. É preciso a teoria atômica da matéria para compreender como é que prótons estão agrupados no núcleo do urânio; finalmente é preciso da mecânica quântica, porque as forças que estão em jogo no interior do núcleo do Urânio são forças inteiramente novas e que não existem no mundo macroscópico.

Com esses conhecimentos, bombas atômicas podem ser planejadas e construídas.

Outros exemplos mais construtivos de frutos da ciência moderna podem ser dados: em primeiro lugar os *transistores*.

Os transistores são instrumentos que foram *inventados*. Há uma grande diferença entre uma descoberta e uma invenção. Há leis que são descobertas como por exemplo, a lei da queda dos corpos feita por Galileu. Há coisas, porém, que não existem na natureza: uma delas é o transistor. O transistor não foi descoberto: foi inventado por cientistas que tinham uma profunda compreensão das leis da mecânica quântica.

Em eletricidade clássica costuma-se dividir as substâncias em condutores e isolantes; para os condutores vale usualmente a lei de Ohm. Acontece que essa descrição é uma descrição muito simplificada. Quando se começa a estudar um pouco mais profundamente esses problemas verifica-se que existem substâncias que não são nem condutores nem isolantes e que são batizadas como semicondutores; semicondutores são muito complexos e têm propriedades muito peculiares. Nos semicondutores tem-se bandas energéticas em que se pode ter elétrons e outras bandas em que a sua presença é proibida. Cada substância tem os seus bandas características, da mesma forma que o hidrogênio emite linhas espectrais características. Este é um fenômeno tipicamente quântico.

Se tomarmos diferentes tipos de substância e fizermos uma junção entre elas pode-se construir um aparelho que foi denominado transistor, e que tem propriedades muito peculiares: ele conduz numa direção mas não

na outra e pode também amplificar uma corrente elétrica. Esses transistores foram descobertos por volta de 1954 e para eles é justo dizer, que são um fruto exclusivo da ciência de nossos dias; a sua existência depende basicamente dos níveis quantizados de energia dentro das substâncias.

Transistores estão substituindo rapidamente as válvulas eletrônicas. As válvulas eletrônicas são instrumentos que gastam muita energia. Nelas é preciso aquecer um filamento que emite elétrons que são acelerados, por certas grades que existem no seu interior.

A maior parte da energia das válvulas é consumida esquentando o filamento. Um transistor não tem filamento. Desta forma, um aparelho de rádio que há alguns anos consumia 100 Watts pode ser construído agora utilizando uma pilha de lanterna, que produz menos de 1 Watt.

Este é um desenvolvimento tecnológico importantíssimo. As comunicações nos dias de hoje são baseadas em transistores e as válvulas estão destinadas a um desaparecimento total. Os transistores são imensamente superiores a elas: utilizam muito pouca potência, são pequenos e são extremamente duráveis, uma vez que não têm partes mecânicas móveis e frágeis. As válvulas possuem uma estrutura metálica complicada no vácuo, no interior de uma proteção de vidro que é muito frágil.

Com o desenvolvimento dos circuitos integrados impressos que utilizam transistores é possível construir circuitos eletrônicos cada vez mais complexos por menor preço e ocupando um espaço cada vez menor.

Apesar desta parte dos desenvolvimentos ser basicamente clássica eles acabarão provocando uma revolução completa na construção de computadores e nos processos de automatização que estes computadores trarão.

Em segundo lugar, o desenvolvimento de *substâncias supercondutoras*. Esse é provavelmente o grande desenvolvimento tecnológico que veremos daqui até o fim do século.

Para os seres humanos a matéria aparece em 3 estados: estado sólido, líquido e gasoso. Quando se passa de um estado para outro existe

uma mudança radical de alguma propriedade da matéria: por exemplo, quando se passa do estado líquido para o estado gasoso, a densidade muda radicalmente: a densidade da água é a unidade e diminui por um fator 1000 quando é transformada em vapor. Isso ocorre num ponto bem determinado (100°C). Sempre que se tem descontinuidades deste tipo diz-se que há uma variação do estado da matéria. Todas as substâncias que existem na natureza têm essas propriedades, e podem ser observadas nestes três estados. Em algumas, o estado líquido ocorre em temperaturas mais elevadas mas de modo geral, no intervalo de temperatura que varia desde -200° até 1000°C todas as substâncias acabam mudando de fase. Acontece que existe um quarto estado da matéria, em que as substâncias se tornam supercondutoras. O que ocorre é o seguinte: nas proximidades do zero absoluto, em temperaturas da ordem de 4° Kelvin, não existe nem atrito nem resistência elétrica. A matéria nessas condições se torna super-fluida ou supercondutora. A ausência de atrito é uma propriedade que imediatamente abre uma nova avenida para o progresso. Se há um efeito que reduz o rendimento das máquinas este é o atrito; com o seu desaparecimento, surge toda uma nova categoria de máquinas que se pode construir. O fato da resistência elétrica nos supercondutores ser zero abre também toda uma nova possibilidade de construção de aparelhos de muitos tipos e de resolver muitos problemas, o principal dos quais é a construção de linhas de alta tensão.

Se pudéssemos construir uma linha de alta tensão, que utilizasse um fio elétrico supercondutor, o problema do transporte de energia elétrica a grandes distâncias estaria resolvido do dia para a noite. Seria possível então estender um supercondutor do Amazonas até São Paulo e utilizar aqui a energia hidroelétrica do maior rio do mundo.

Creio que o exemplo dos superfluidos e dos supercondutores é dos mais revolucionários que se pode citar.

Supercondutores e transistores não existem na física clássica. Para entender sua existência é preciso conhecer Mecânica Quântica.

A linguagem da Mecânica Quântica será portanto, a linguagem dos engenheiros do ano 2.000.