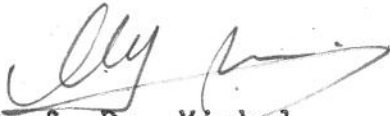


CARLOS ALBERTO FUDOLI

INTERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS ENTRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Departamento de Filosofia do Instituto
de Filosofia e Ciências Humanas da Uni-
versidade Estadual de Campinas.

Este exemplar corresponde à re-
dação final da dissertação de-
fendida e aprovada pela Comis-
são Julgadora em 28/11/1990.


Orientador: Prof. Dr. Michel

O. Y. Marie Joseph Ghins

BC/5102523

Novembro/1990

F951i

13365/BC

UNICAMP
BIBLIOTÉCA CENTRAL

INTIMIDADE: EPISTOLAS VULGARES E FINES

Dispersos

Devotamente à Tania,

de 11.11.1937

que esteve sempre a meu lado.

Este trabalho encontra-se
na forma final de apresentação
feita e enviada para a
Biblioteca da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Mário

C. F. Maria Joseph. Costa

Novembro de 1937

AGRADECIMENTOS

A CAPES, CNPq e UNICAMP; ao Prof. Michel Ghins, que me possibilitou perseguir este tema; ao Prof. Steven French, pelas sugestões bibliográficas; aos professores e funcionários do Departamento de Filosofia do IFCH e do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência.

INTERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS ENTRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INTRODUÇÃO	1
I - O CONHECIMENTO NA TECNOLOGIA	8
1.1 - Técnica e tecnologia	9
1.2 - Criação e uso	9
1.3 - Um falso dilema	10
1.4 - Filosofia da tecnologia	11
1.5 - A engenharia acadêmica	13
1.6 - Ciências tecnológicas	16
1.7 - Invenção, desenvolvimento e inovação	18
1.8 - O projeto na tecnologia	18
1.9 - Subsídios para a realização	21
1.9.1 - A teoria na tecnologia	21
1.9.2 - Empirismo e experimentação	22
II - ASPECTOS GERAIS	24
2.1 - Metáforas	25
2.1.1 - Casamento	25
2.1.2 - No país dos espelhos	27
2.2 - Conhecimentos, aplicações, instituições	29
2.2.1 - Mito da ciência "pura"	29
2.2.2 - Relações industriais da ciência	30
2.2.3 - Pesquisa e aplicação	33
2.3 - Pela interação	35
2.4 - Reações em cadeia	37
2.5 - Mais sobre a interação	40
2.6 - Finch	43
2.7 - Smith	47
2.8 - Questões recorrentes	48
2.9 - A Sociedade Lunar	48
2.10 - Diferenciação e cientificação	50

2.10.1 - Renascimento	50
2.10.2 - Diferenciação	51
2.10.3 - Cientificação	53
2.10.4 - Implicações sociológicas	55
2.10.5 - Observações	56
 III - ALGUNS EXEMPLOS	 59
3.1 - Debates inconclusivos	59
3.2 - Um pressuposto adequado	61
3.3 - Influência recíproca	64
3.4 - Rodas d'água	64
3.5 - Tartaglia	72
3.6 - Produção de Salitre	73
3.7 - Potência, trabalho e energia	74
3.8 - Predecessores de Carnot	77
3.9 - O trabalho de Joule	81
3.10 - O injetor de Giffard	84
3.11 - Engenho diesel	92
3.12 - História do transistor	96
 IV - FILOSOFIA, CIÊNCIA, TECNOLOGIA.	 100
4.1 - Técnica e artes mecânicas (1400 a 1700)	100
4.1.1 - Artes mecânicas e filosofia (século XVI)	102
4.1.2 - A idéia de progresso científico	113
4.1.3 - Filosofia e técnica no século século XVII	117
4.1.4 - A contribuição de Rossi	134
4.2 - "Téchne" e "epistème"	138
4.2.1 - "Téchne"	138
4.2.2 - "Epistème"	140
4.3 - Arte, natureza e a máquina do mundo	143
4.4 - Natural e artificial na ciência e tecnologia modernas	149
4.4.1 - Natureza e artefato	149
4.4.2 - Um retorno infeliz	151

V - TEORIA E TECNOLOGIA: ALGUNS COMENTARIOS	155
5.1 - A influência clássica	156
5.2 - Regras tecnológicas	157
5.3 - Layton e o conhecimento tecnológico	165
5.4 - Uma disciplina intermediária?	190
5.5 - Idealização e abstração	203
VI - PERSPECTIVAS METODOLÓGICAS	207
6.1 - Da prática à teoria	207
6.1.1 - O cérebro na ponta dos dedos	208
6.1.2 - Experimentação	214
6.1.3 - "Indução"	226
6.1.4 - Tentativa-e-erro	229
6.2 - Uma curiosidade	231
6.3 - Explicação, modelos, aplicação	234
6.3.1 - Leis fenomenológicas	234
6.3.2 - Considerações iniciais	236
6.3.3 - Verdade e aproximação	243
6.3.4 - Modelos e simulacros	249
6.3.5 - Simulacro e tecnologia	258
6.4 - Dois casos da tecnologia	260
6.4.1 - Teoria do motor de indução	261
6.4.2 - Análise de volume-controle	265
CONCLUSÃO	270
BIBLIOGRAFIA	277

INTRODUÇÃO

Enquanto estudante de graduação e pós-graduação em engenharia, havia uma questão com a qual sempre me deparava, mesmo quando não tinha muita consciência disto. O que tem mais valor na engenharia: a teoria ou a prática? Inicialmente eu acreditava que a teoria devia ter prioridade, que era superior à prática. Mas aos poucos esta convicção foi sendo abalada. Fui constatando que a teoria, apesar de ser frequentemente imprescindível, mesmo nestes casos não era suficiente, e cabia à prática a tomada de certas decisões acerca da solução de problemas reais que não podiam ser prescritas através da teoria. Mesmo quando prestava uma orientação imprescindível à prática, a teoria não era suficiente para prescrever tudo; a prática e a intuição bem informada tinham de entrar em cena e tomar certas decisões, completar as soluções dos problemas reais. Mas o pior não era isto. As intervenções da prática muitas vezes não eram claramente compatíveis com a teoria, ou ao menos não de um modo imediatamente apreensível. E ainda pior: às vezes a intervenção da prática era claramente incompatível com a teoria, ou até a contrariava.

Tornou-se claro, para mim, que a prática não se guiava inteiramente pela teoria, e nem pretendia fazê-lo. A teoria não era completamente confiável para a prática -- e muito menos era a teoria o único instrumento ou recurso de que a prática dispunha.

Mas restavam, então, algumas questões a responder: qual deve ser o uso da teoria pela prática, na tecnologia? Como deve ser este uso? Quando deve a prática utilizar a teoria, em quais circunstâncias? Até que ponto deve a teoria ser utilizada? E quais teorias utilizar? Como avaliar até que ponto uma teoria é relevante ou pode ser aplicada, com que critérios?

Bem, este constitui todo um conjunto de questões. No entanto, a prática na tecnologia mantém um certo grau de

autonomia, o que pode inclusive ser constatado em decorrência de sua utilização cuidadosa e não-irrestrita da teoria. Por isso, parece provável que se deva considerar também uma outra classe de questões. Sendo relativamente autônoma, talvez a prática tenha alguma influência direta e efetiva sobre a teoria, sobre a formação ou a formulação teórica. Neste caso, não seria apenas a teoria a influenciar ativamente a prática tecnológica; esta última também contribuiria de modo ativo para a formulação de teorias científicas.

De fato, minha experiência com a engenharia sugere que a prática tecnológica pode muitas vezes ser ativa e eficaz na produção de conhecimentos científicos -- e não apenas fornecendo instrumentos de laboratório ou problemas para a ciência investigar. No entanto, resta ainda saber de que maneiras isto ocorre, precisa e especificamente. Com base em que a tecnologia e sua prática podem fornecer contribuições vitais e diretas para a formulação de teorias científicas? A partir exatamente de que fundamentos, de quais procedimentos, de que processos a prática tecnológica lançaria suas contribuições à formulação teórica?

Dizer que a ciência contribui ativamente para a tecnologia, e vice-versa, significa dizer que entre elas há uma forte interação. Na tecnologia, há uma intensa interação entre teoria e prática, e penso que o mesmo ocorre na ciência; portanto, há uma grande interação entre ciência e tecnologia. Uma investigação desta interação, sobretudo ao nível epistemológico, constitui o núcleo desta dissertação.

É amplamente reconhecido, e com razão, que a ciência contribui significativamente para a tecnologia. Todavia, pouco se sabe a respeito de como o conhecimento científico é aplicado na tecnologia. O que há é uma convicção de que esta aplicação ocorre, uma convicção que é tomada quase como auto-evidente e suposta como não-problemática. Na verdade, as coisas não são tão simples quanto muitas vezes se supõe. Poucos sabem

minuciosamente, com riqueza de detalhes, como uma determinada teoria é aplicada na tecnologia. Tecnologistas, é certo, sabem como fazer estas aplicações de teoria. No entanto, os tecnologistas quase não refletem sobre a maneira pela qual realizam estas aplicações; eles sabem como aplicar, mas quase nunca dizem como o fazem. A aplicação de teorias na prática tecnológica tem de ser feita caso a caso, conforme a teoria disponível e a situação desejada. Não existe um método geral que informe como aplicar uma teoria qualquer às situações desejadas. Provavelmente, há procedimentos informais em áreas específicas; mas sendo informais, estes procedimentos setorializados não estão formulados explicitamente. Não tenho a intenção de propor um método deste tipo aqui. Mas espero mostrar que a aplicação da ciência na tecnologia em geral não é trivial, nem simples ou direta; e também que métodos gerais e explícitos sobre a aplicação da ciência não existem, ainda. Em resumo, espero mostrar que há pouco conhecimento reflexivo, explícito, de como as teorias científicas são aplicadas na prática tecnológica. Este é um tema que não recebeu quase nenhuma atenção da filosofia da ciência.

Penso que a dificuldade com a aplicação de teorias científicas na prática tecnológica tem a ver com dois problemas que as teorias por vezes apresentam: a simplificação e a idealização. A simplificação, no sentido que emprego aqui, serve para facilitar ou viabilizar o cálculo. Os modelos podem ser simplificados para facilitar o cálculo das equações da teoria, ou para que estas equações apresentem soluções conhecidas -- ou até mesmo para contornar um conhecimento insuficiente dos dados. A fim de evitar a imprecisão que decorre da simplificação, portanto, basta especificar ou encontrar modelos mais complicados, capazes de descrever os complexos fenômenos com que a tecnologia eventualmente tem de lidar.

A idealização, porém, conforme a entendo aqui, implica em alguma ficção, em algo que nunca representa verdadeiramente a realidade, ou que só o faz em condições extremamente especiais --

na realidade muito raras. A idealização talvez esteja embutida nos próprios princípios da teoria. Neste caso, qualquer modelo que satisfaça à teoria estará se comprometendo com as idealizações que a própria teoria impõe. Os modelos destas teorias, portanto, não podem representar completamente a realidade, pois implicam em algum grau de idealização que não pode ser eliminado. A solução estaria, se possível, a modificação da teoria e, conseqüentemente, dos modelos que as satisfazem, de modo que eles pudessem representar melhor os fenômenos específicos e complexos eventualmente encontrados na prática tecnológica. No entanto, alterar as próprias teorias é tarefa difícil. Na maioria das vezes pode ser preferível lançar mão de resultados empíricos e experimentais. Além do mais, talvez as teorias mais fundamentais sejam intrinsecamente limitadas quanto a suas capacidades descritivas. Talvez, como sugere Nancy Cartwright, as leis fundamentais da ciência básica sejam geralmente menos precisas que as leis fenomenológicas, que os resultados empíricos e experimentais obtidos na tecnologia. As leis fenomenológicas tendam a ser altamente específicas. De fato, as leis fenomenológicas ou as formulações empírico-experimentais são por vezes tão específicas que só se referem a instrumentos, instalações ou processos tecnológicos bastante particulares. As leis fundamentais podem ter grande poder explanatório e servir para organizar e coordenar os fenômenos, os quais, no entanto, são melhor descritos pelas leis fenomenológicas.

Seja como for, simplificação e idealização implicam num distanciamento da teoria em relação à realidade, o que pode ser aceitável do ponto de vista da teoria, mas que é bastante problemático do ponto de vista da tecnologia, que tem de lidar diretamente com a realidade. Isto é o que gera as dificuldades para a aplicação da ciência na tecnologia. Ajustes e alterações freqüentemente têm de ser feitos para que as teorias sejam aplicáveis.

Por outro lado, as demandas práticas pressionam a tecnologia a obter resultados rapidamente -- o que não ocorre na

ciência. E o caminho natural para atender às urgências da prática é enfatizar os procedimentos empíricos, em detrimento da teoria.

No entanto, penso que é justamente nesta ênfase do empírico, do experimental, que a tecnologia pode mais contribuir para a ciência e para a construção de teorias. Sendo mais próxima à realidade, tendo de lidar mais diretamente com o mundo, a prática tecnológica fica numa situação que lhe permite apreender detalhes, observar minúcias, perceber variedades de fatos, coisas que são menos íntimas da teoria, menos acessíveis a ela. É nos procedimentos, na experimentação que os fenômenos podem ser manipulados, controlados, provocados, criados e, por estes meios, tornem-se conhecidos.

É nestas possibilidades empíricas e experimentais da prática tecnológica que vejo as melhores possibilidades dela contribuir ativa e efetivamente para a produção do conhecimento científico. No entanto, reconheço que este tipo de contribuição da tecnologia para o conhecimento científico não é algo amplamente reconhecido -- como é o caso da contribuição da ciência para a tecnologia. Pelo contrário, esta ênfase da tecnologia no empírico e experimental é vista antes como uma prova de que a tecnologia pouco contribui para a produção de conhecimentos científicos. Mas este é um ponto de vista com o qual não concordo; ele superestima a teoria em detrimento da experimentação e dos procedimentos empíricos; o experimento serve apenas para testar ou confirmar a teoria. Além disso, ao subordinar excessivamente o empírico ao teórico, esta perspectiva não é capaz de contribuir para a compreensão da descoberta científica. Pois acredito que a descoberta, na ciência, está em grande parte relacionada ao acesso a dados empíricos e resultados experimentais. Considere-se, por exemplo, a observação de fenômenos inesperrados e surpreendentes; ou os fenômenos desconhecidos produzidos num experimento exploratório. Em tais casos, a observação, a experimentação, os procedimentos empíricos, podem revelar fenômenos antes desconhecidos, desvendar novos aspectos da realidade, os quais, por si sós, pedem por uma

explicação teórica, sugerindo, propondo e orientando um desenvolvimento teórico.

Entendo que a tecnologia não apenas contribui para a produção do conhecimento científico, devido justamente a sua proximidade com o mundo, por sua ênfase na experimentação, no empírico, na observação: mais do que isto, acredito que o próprio progresso da ciência depende muito da adoção destes procedimentos e de seus resultados.

Ciência e tecnologia modernas interagem profundamente; o próprio progresso delas tem dependido desta interação, a meu ver. A tecnologia adotou amplamente a abordagem teórica, o mesmo acontecendo com a ciência com respeito à experimentação. Entre elas há uma interação dinâmica e crescente, de tal modo que freqüentemente desaparecem suas diferenças cognitivas, ao menos temporariamente.

O objetivo deste trabalho, enfim, é argumentar em favor da tese de que há uma forte interação epistemológica entre ciência e tecnologia, (Também há uma grande interação entre ciência e tecnologia em outros aspectos, mas isto pertence a outras áreas de investigação.) As teorias e os resultados empírico-experimentais, as pesquisas teóricas e experimentais, na ciência e na tecnologia, se enredam-se umas nas outras, no interesse do progresso científico e tecnológico.

Numa investigação como a que proponho aqui, penso que se deve ter em conta como a tecnologia realmente é feita. Por isso, também dei alguma ênfase à prática e à história da tecnologia -- e da ciência.

* *

A literatura sobre este tema é escassa e freqüentemente incipiente. Não há abordagens abrangentes ou suficientemente completas sobre a temática. Nem sequer há alguma base consensual sobre a qual discutir a relação epistemológica entre ciência e tecnologia.

A solução que adotei foi a de examinar uma série de

textos que tratam desta temática de alguma forma. Estes textos apresentam uma enorme heterogeneidade entre eles. Meu objetivo, no entanto, é agregar estes textos em torno daquilo que me interessa discutir aqui, extraíndo o que eles têm de relevante para a discussão das interações epistemológicas entre ciência e tecnologia.

No capítulo I, delimito um pouco melhor a temática deste trabalho ao discutir o conhecimento no contexto da tecnologia. A parte mais cognitiva da tecnologia é identificada.

No capítulo II, abordo alguns aspectos da relação entre ciência e tecnologia discutidos não apenas por filósofos, mas por historiadores, engenheiros, cientistas, sociólogos e todos os interessados em compreender aquela relação. As características básicas das inerações entre ciência e tecnologia são analisadas.

O capítulo III traz alguns exemplos da história da tecnologia, os quais ilustram as complexas interações entre ciência e tecnologia, ao se desenvolverem. Inúmeros outros exemplos poderiam ser considerados, além dos que aparecem neste capítulo.

No capítulo IV exponho algumas das principais considerações acerca da relação entre ciência e tecnologia na história da filosofia.

O capítulo V discute algumas tentativas -- não muito bem sucedidas -- de compreender o papel da teoria na tecnologia e a interação da teoria com a prática tecnológica.

Finalmente, no capítulo VI discuto algumas abordagens na filosofia da ciência, cujos resultados me parecem extremamente relevantes para uma compreensão mais apurada das interações epistemológicas entre ciência e tecnologia. Tanto o papel da teoria quando da experimentação e dos procedimentos empíricos são considerados. Portanto, é no capítulo VI que convergem os principais problemas que abordo neste trabalho. No itens 6.3 e 6.4, chego aos resultados mais detalhados desta monografia.

I - O CONHECIMENTO NA TECNOLOGIA

Antes de examinar como ciência e tecnologia interagem a nível epistemológico, é preciso considerar algumas questões: o que é conhecimento tecnológico e que parte dele é científica? Qual parcela da tecnologia manipula conhecimentos científicos, inclusive gerando conhecimentos deste tipo? Que parte da tecnologia interage com a ciência?

Boa parte dos textos que se concentram sobre os aspectos mais cognitivos da tecnologia consideram algum tipo de conhecimento tecnológico autônomo, em relação à ciência, muitas vezes como alguma forma de conhecimento paralela e similar ao da ciência. No entanto, esses textos nunca identificam de modo claro ou aceitável esta espécie de conhecimentos tecnológicos.

Não acredito que se possa identificar alguma espécie de conhecimento tecnológico independente, distinto e ao mesmo tempo similar ao científico. O que muitas vezes se observa é a produção -- ou a reelaboração --, pela tecnologia, de conhecimentos científicos especialmente voltados para a aplicação. Estes conhecimentos aplicáveis podem parecer um tanto distanciados da parte mais contemplativa e teórica da ciência, gerando a ilusão de pertencerem a uma classe de conhecimentos razoavelmente autônoma e independente. Esta impressão, no entanto, não resiste a uma análise mais cuidadosa. Estes conhecimentos tecnológicos, que parecem similares aos científicos são de fato científicos.

É claro que nem todos os conhecimentos utilizados na tecnologia são do mesmo tipo que os conhecimentos das ciências naturais. Isto pode reforçar a impressão de que a tecnologia possui um corpo de conhecimentos autônomos, porém paralelos aos da ciência. Além do mais, a impressão pode ficar ainda mais forte porque, mesmo quando se apoia sobre conhecimentos científicos, a tecnologia tende a enfatizar os procedimentos empíricos e

experimentais -- mais do que a ciência.

Por isso, antes de começar a considerar o problema da interações epistemológicas entre ciência e tecnologia, é conveniente delimitar as partes da tecnologia onde se concentram estas interações.

1.1 - Técnica e Tecnologia

Os termos 'técnica' e 'tecnologia' freqüentemente aparecem como intercambiáveis. Não seria possível fornecer uma definição destes termos que satisfizesse todas suas utilizações. Por isso, uma definição rigorosa de técnica e de tecnologia não poderia deixar de ser arbitrária.

No entanto, há uma certa tendência de o termo 'técnica' designar habilidades, procedimentos e utilização de instrumentos, manuais ou intelectuais, enquanto que a tecnologia tende a ser vista como técnica adicionada de conhecimentos e procedimentos científicos. Esta me parece uma boa definição inicial. Quando emprego o termo 'tecnologia', portanto, estou geralmente me referindo a técnicas que envolvem conhecimentos e procedimentos científicos.

1.2 - Criação e uso

A palavra 'cientista' refere-se a quem trabalha no desenvolvimento da ciência; no entanto, praticamente não existe um termo usual para designar aqueles que desenvolvem tecnologia (Multhauf [47]). Embora 'inventor' denote quem contribui para o avanço da tecnologia, o progresso tecnológico não pode ser adequadamente compreendido apenas com o conceito de invenção. O progresso da tecnologia depende, por exemplo, de trabalho teórico e experimental, que não precisa necessariamente estar ligado a alguma invenção particular. 'Engenheiro' também não é um termo muito adequado, pois muitas das atividades da engenharia

restringem-se ao uso da tecnologia, e não ao seu progresso.

Sugiro o termo 'tecnologista' para designar aqueles que contribuem para o progresso da tecnologia; será basicamente com este sentido que empregarei o termo 'tecnologista', indicando o desenvolvimento e melhoria da tecnologia, em vez de apenas sua utilização.

1.3 - Um falso dilema

A tecnologia pode ser abordada de diferentes perspectivas, sobretudo se a preocupação é com o uso que dela se faz, antes que com seu aprimoramento e avanço. O uso da tecnologia desperta um interesse geral, devido a sua incidência sobre o mundo e sobre nossas vidas. Por isso, a tecnologia suscita problemas sociais, econômicos, políticos, ecológicos, éticos, etc. É esta ampla repercussão da tecnologia que acarreta o dilema do qual fala Giere [23].

Durbin, citado por Harney [27], identifica dois tipos de problemas filosóficos no estudo da tecnologia, os normativos (ético-políticos) e os "definicionais" (metafísico-epistemológicos), observando que esses dois tipos gerais de problemas são parcialmente sobrepostos, e que as abordagens do primeiro tipo com frequência pressupõem questões do segundo. O dilema discutido por Giere caminha mais ou menos nesta direção. Segundo Giere, os filósofos da ciência encontram dificuldade em analisar a tecnologia, apesar de a ligação existente entre tecnologia e ciência sugerir que eles estariam em condições privilegiadas para empreenderem esta análise. Pois, se por um lado a tecnologia suscita questões de interesse geral, de outro, os filósofos da ciência são especialistas -- cujos métodos, habilidades e conhecimentos os capacita a analisar problemas de sua área específica de trabalho. Daí um dilema, segundo Giere: os filósofos da ciência estão habilitados a examinar os aspectos da tecnologia que envolvem conhecimento, mas não estão

adequadamente aparelhados a considerar os aspectos da tecnologia que despertam interesses gerais.

No entanto, não vejo porque deva existir aí um dilema. Os filósofos da ciência não precisam analisar os aspectos da tecnologia que despertam interesse geral, mais do que devem examinar qualquer problema que suscite interesses gerais. Os filósofos da ciência podem se concentrar sobre os aspectos da tecnologia que envolvem conhecimento, que é o que mais lhes concerne. Além do mais, a análise destes aspectos específicos pode ajudar indiretamente no exame dos aspectos de interesse geral. Os filósofos da ciência não precisam desembaraçar todo o novelo da tecnologia, mas eles podem talvez desatar alguns incômodos nós.

1.4 - Filosofia da tecnologia

O problema levantado por Giere reflete, na verdade, a dificuldade de se constituir uma filosofia da tecnologia. Não há consenso acerca do que deve tratar uma filosofia da tecnologia. Black [3], por exemplo, sugere algumas diretrizes. Ele propõe a primazia do conceito de "empreendimento tecnológico", que designaria, por exemplo, a produção e comercialização de algum produto tecnológico. Sugere também a necessidade de se possuir uma "imagem integral" da tecnologia, que possibilite a apreensão em conjunto, de uma só vez, de seus diferentes aspectos e dos empreendimentos tecnológicos. Destaca, ainda, que a tecnologia está ligada à *habilidade* -- técnica, perícia --, um aspecto considerado pouco racional na tradição filosófica. Black sugere, enfim, como tarefa da filosofia da tecnologia: analisar conceitos como os de eficiência, habilidade, racionalidade, poluição, danos ambientais, etc; fazer uma crítica intelectual destes conceitos; fazer uma crítica moral da tecnologia. Finalmente, ele propõe que os filósofos da tecnologia participem ativamente nos debates que envolvem a tecnologia.

Portanto, Black está bastante interessado nas questões de "interesse geral". Mas também faz algumas observações acerca do "conhecimento técnico", dividindo-o em dois tipos: naquele que pressupõe considerável conhecimento científico, e que poderia ser chamado de "conhecimento tecnológico", e naquele que ao menos pode ser especificado verbalmente ou por algum outro código formal. E ao conhecimento técnico ele contrapõe a habilidade, a capacidade de ter um desempenho ou performance, o "know-how", simplesmente.

As considerações de Black, no entanto, não passam deste nível geral e programático.

Wartofsky [65] apresenta outras sugestões. Ele acredita que as abordagens da tecnologia até agora existentes podem ser classificadas em quatro tipos: holísticas, de orientação social e ética; particularistas, que tendem à história da tecnologia acerca de casos particulares; desenvolvimentistas, voltadas para a mudança tecnológica e suas relações com a sociedade e com a ciência; e crítico-sociais (quase-holísticas), que tomam a tecnologia como fenômeno cultural ou social. Wartofsky, por sua vez, sugere as seguintes linhas de pesquisa: estudos sobre a "lógica da tecnologia", que trataria de temas como a praxeologia, teoria de sistemas ou pesquisa operacional, etc; história e análise dos conceitos tecnológicos como o de máquina, informação, eficiência, relação meios-fins, valor social e risco; análise das relações homem-máquina; análise de como a tecnologia, e não apenas a ciência, afeta conceitos filosóficos como os de mente, percepção, ação humana, racionalidade; e estudo de problemas normativos (éticos e sociais) na tecnologia.

Outro exemplo pode ser encontrado em Bunge. Em um de seus trabalhos [9], Bunge toma como problema a definição de tecnologia -- "um corpo de conhecimentos compatível com a ciência e controlável por seu método, empregado para controlar, transformar ou criar coisas ou processos, naturais ou sociais" --, e a classificação das tecnologias e seu desenvolvimento.

Bunge divide a filosofia da tecnologia em classes de problemas que refletem as divisões da própria filosofia: problemas epistemológicos (próprios da tecnologia, e também os que ela divide com a ciência); o problema da verdade e problemas correlatos; problemas ontológicos (próprios da tecnologia e os divididos com a ciência); a "tecnoaxiologia" (os valores da tecnologia); a moral e a ética; a praxeologia (a ação na tecnologia). Para Bunge, a tecnologia deve ser estudada na totalidade de seus múltiplos aspectos. Já em outro trabalho [10] Bunge trata separadamente diversas tecnologias (as engenharias, a teoria de sistemas e a teoria da decisão, as tecnologias da saúde as tecnologias sociais, as tecnologias da administração, etc), e elege a distinção entre natural e artificial como básica para o exame da relação entre ciência e tecnologia. Vale destacar ainda que Bunge considera a *pesquisa tecnológica* e a *política de tomada de decisões* como os componentes da tecnologia filosoficamente mais relevantes (dilema de Giere?).

Mais exemplos poderiam ser citados. Mas estes já são suficientes para ilustrar como filósofos, especialmente da ciência, esperam tratar da tecnologia. Eles também ilustram que o dilema apontado por Giere aparece frequentemente, ao menos de maneira implícita, confrontando o enfoque especializado com os interesses diversos que envolvem a tecnologia e suas consequências em nossas vidas -- ou a necessidade de controlá-la. Os exemplos ilustram ainda como o problema do conhecimento na tecnologia é um dos mais frequentes, aparecendo insistentemente e sob várias perspectivas.

1.5 - A engenharia acadêmica

Rapp [53] reconhece que a tecnologia só pode ser realmente compreendida se considerada sob todos seus aspectos. No entanto, estes aspectos não podem ser estudados todos ao mesmo tempo. É necessário considerar cada aspecto separadamente e então

integrar os resultados de cada estudo uns com os outros, obtendo assim uma visão integral da tecnologia.

A ciência, observa Rapp, pode ser considerada como uma disciplina que se desenvolve a partir de suas próprias exigências internas -- embora, a partir de uma perspectiva histórica mais ampla, ela dependa de certas condições socioculturais contingentes. Porém, tratar a tecnologia como uma disciplina isolada das influências externas, à maneira da ciência, implica em distorções muito maiores e mais graves, pois a tecnologia está intrinsecamente ligada ao compromisso de atender a propósitos práticos impostos pela sociedade. Enquanto que a ciência concentra-se na aquisição de conhecimento, o conhecimento tecnológico é almejado, procurado e desenvolvido sempre em vista do atendimento de algum propósito prático. O desenvolvimento tecnológico é bastante dependente de fatores econômicos, sociais, políticos, culturais, etc.

Mesmo assim, de acordo com Rapp, a tecnologia pode ser tratada de modo similar à ciência. Afinal de contas, é isto que faz, por exemplo, a engenharia acadêmica, onde contextos mais abrangentes -- como o contexto social -- são tratados como variáveis externas. Estas variáveis só são consideradas em termos de objetivos e metas, ou de recursos de vários tipos; são condicionantes externos que devem ser observados. A engenharia acadêmica consiste em uma atividade, que deve perseguir metas externas -- embora também possua metas internas --, estando restrita a limitações internas e externas.

Rapp utiliza uma analogia como ilustração. Imagine-se a tecnologia como uma "caixa-preta", que transforma as "entradas" (matéria-prima, energia, recursos humanos, conhecimentos) em "saídas" adequadas (produtos e sistemas tecnológicos). Do ponto de vista do cientista social, do político, do economista, do historiador, o que importam são as "entradas" e as "saídas", e não o que ocorre no interior da "caixa-preta". Do ponto de vista da engenharia acadêmica, no entanto, as "entradas" são variáveis

externas, que devem ser transformadas no interior da "caixa-preta", fornecendo tanto quanto possível as "saídas" desejadas, que também são variáveis externas. A engenharia acadêmica, portanto, concentra seus esforços sobretudo nas transformações que ocorrem no interior da "caixa-preta".

O interior da caixa-preta possui sua dinâmica própria, seus problemas internos, sendo parcialmente independente do exterior, que só exerce influência através das "entradas" e das "saídas".¹

A engenharia acadêmica, portanto, de acordo com esta ilustração de Rapp, estaria incumbida de tratar do interior da "caixa-preta".

Um outro modelo apresentado por Rapp ajuda a compreender ainda melhor a posição da engenharia acadêmica em relação à engenharia (ou à tecnologia) em geral. Rapp apresenta este modelo sob a forma geométrica. Cada um de sete círculos concêntricos de raios diferentes representa um nível de limitações distinto a que a tecnologia está sujeita. O maior dos círculos representa a consistência lógica; para que uma tecnologia possa realizar-se concretamente, ela precisa ser logicamente consistente. O segundo círculo representa as leis da natureza; só pode ser real a tecnologia que satisfaz as leis da natureza.² O terceiro círculo restringe as possibilidades da tecnologia ao estado atual do conhecimento científico. O quarto nível de restrições é o do estado atual da tecnologia. O conhecimento científico não é suficiente para garantir a

¹ Esta dinâmica interna nada tem a ver com a tese do "determinismo tecnológico", segundo o qual a tecnologia determina totalmente seu progresso e suas necessidades. Ao contrário, a definição das variáveis externas depende sobretudo dos homens.

² Portanto, é necessário saber o que são leis da natureza -- e o que é conhecimento científico.

aplicação tecnológica; pesquisa e desenvolvimento tecnológicos³ são requisitados para possibilitar a obtenção de resultados tecnológicos concretos; conhecimentos científicos e conhecimentos tecnológicos não são a mesma coisa.⁴ O quinto nível de restrições é o da disponibilidade de recursos. De nada adianta atender às outras restrições se os recursos físicos, econômicos e humanos não são disponíveis na medida adequada. O sexto nível do modelo de Rapp exige que a tecnologia passe pela aceitação do mercado econômico. Finalmente, o menor dos círculos impõe, mesmo que os outros seis níveis de restrição estejam satisfeitos, que outras condições sejam obedecidas: as restrições políticas, legais e morais -- incluindo-se também restrições ecológicas e interesses nacionais.

Observe-se que as restrições do quinto ao sétimo nível são tratadas pela engenharia acadêmica como variáveis externas. O trabalho da engenharia acadêmica concentra-se mesmo do primeiro ao quarto níveis.

Noutro lugar [52], Rapp observa que não é a tecnologia inteira que se relaciona com a ciência. A parte da tecnologia que está mais relacionada com a ciência é representada pela engenharia acadêmica e similares.

1.6 - Ciências tecnológicas

Em vez de falar em engenharia acadêmica, apenas, prefiro me referir às *ciências tecnológicas*, que incluem também outras disciplinas ligadas às ciências naturais, além da

³ Pesquisa e desenvolvimento tecnológicos colocam em evidência o problema do conhecimento na tecnologia.

⁴ Observe-se que são estes quatro primeiros níveis de restrições que possuem implicações epistemológicas.

engenharia⁵ -- por exemplo, a medicina. Além do mais, as ciências tecnológicas não estão confinadas às universidades; elas também são praticadas nas indústrias e em qualquer prática voltada para o progresso tecnológico.

As ciências tecnológicas, conforme as entendo aqui, não apenas disciplinas acadêmicas. Elas possuem uma componente acadêmica, mas passam também pelas indústrias e incluem todas as práticas empíricas e experimentais empenhadas no desenvolvimento tecnológico.

Excluo, ainda, das ciências tecnológicas, os aspectos relacionados ao planejamento, gerenciamento e administração tecnológicos.⁶

É nas ciências tecnológicas, portanto, que a tecnologia interage mais intensamente com a ciência, a nível epistemológico -- o objeto de estudo deste trabalho. Mas é preciso delimitar um pouco melhor mais onde estas interações ocorrem com maior intensidade.

⁵ Com respeito à engenharia, o termo 'engineering sciences' é bastante utilizado em inglês.

⁶ Conferir Duffy [17] para uma abordagem deste tipo. Bunge [10] também leva em conta a análise de sistemas, a teoria geral de sistemas, a pesquisa operacional, a teoria da decisão.

Skolymowski [62] propõe uma análise dos aspectos epistemológicos da tecnologia, porém apoiada sobre o conceito de eficiência. Ele propõe o estudo de uma teoria geral da ação eficiente e de teorias de administração e organização, a fim de poder caracterizar o conceito de eficiência em cada particular tecnologia.

Estas abordagens, no entanto, escapam às relações epistemológicas entre tecnologia e ciências naturais.

1.7 - Invenção, desenvolvimento e inovação

Hughes [28] observa que a invenção, o desenvolvimento e a inovação são três aspectos distintos que, no entanto, costumam aparecer juntos. Para Hughes, a invenção significa a idéia criativa através da qual se pretende obter uma tecnologia. O desenvolvimento significa as pesquisas, experimentos, testes, construção de protótipos, tudo que é necessário para transformar a idéia de uma invenção numa tecnologia concreta. A inovação, finalmente, significa tomar a tecnologia obtida na fase de desenvolvimento e torná-la num produto comercializável. As três fases são em boa parte superpostas. Por exemplo, a fase de desenvolvimento pode obrigar a reformular a idéia da invenção, ou conduzir à idéia de uma nova invenção. A fase da inovação pode remeter de volta às duas fases anteriores, obrigando a reformulações.

Destas três fases, eu diria que apenas as duas primeiras envolvem mais diretamente as ciências tecnológicas. A inovação está mais distante -- fornecendo variáveis externas. Mas a grande tarefa das ciências tecnológicas é mesmo o desenvolvimento. É aí que ocorre a maior parte da pesquisa tecnológica. A invenção pura, conforme definida por Hughes, resulta mais da inspiração que das ciências tecnológicas, nas quais a invenção aparece sempre relacionada às atividades de pesquisa e desenvolvimento.

As ciências tecnológicas, então, situam-se em todos os contextos voltados para o desenvolvimento tecnológico, desde a universidade até a indústria incluindo todas as práticas e procedimentos empíricos e experimentais exploratórios. As ciências tecnológicas possuem duas facetas: a teórica e a empírico-experimental.

1.8 - O projeto na tecnologia

A importância do projeto na tecnologia é bem reconhecida. Importa ressaltar, entretanto, que o projeto em geral aplica os conhecimentos gerados pela ciência -- especialmente os provenientes das ciências tecnológicas. Portanto, não é no projeto tecnológico que há maior interação entre ciência e tecnologia.

Fornecer subsídios para o projeto de tecnologia -- e para a ação tecnológica em geral -- é uma das tarefas fundamentais das ciências tecnológicas. Todavia, o projetista freqüentemente não se interessa muito em saber como aqueles subsídios são obtidos nas ciências tecnológicas. O que mais importa ao projetista é eles facilitem seu trabalho e o tornem mais eficiente -- econômico, seguro, rápido, simples. O projetista prefere que os subsídios se apresentem de um modo padronizado, sintético e até mesmo simplificado, de modo a facilitar sua utilização. Pois o projetista se interessa pelos resultados e conclusões derivadas daqueles subsídios sem perder muito tempo com detalhes ou com justificações daqueles resultados. O projetista precisa então de dados, fórmulas, algoritmos, tabelas, ábacos, padronizações -- que tão comumente se diz caracterizar a engenharia ou a tecnologia.

É verdade, porém, que o projetista às vezes é obrigado a obter ele próprio os subsídios de que necessita -- inclusive conhecimentos científicos, eventualmente, o que é mais raro, porém. Às vezes, as atividades de projeto e as da ciência tecnológica se aproximam muito e se entrelaçam -- como pode ocorrer na pesquisa e desenvolvimento, quando objetivo é a produção de conhecimentos científicos necessários para a elaboração de projetos particulares. Eventualmente, o tecnologista acadêmico também pode se envolver em projetos tecnológicos particulares.

Deve-se observar, ainda, que é comum os conhecimentos disponíveis não serem suficientes para a elaboração de certos

projetos. Neste caso, o projetista poderá cobrir a deficiência recorrendo a sua própria *intuição e experiência*. Pode acontecer também que os conhecimentos disponíveis sejam insatisfatórios -- por razões de economia de tempo, por exemplo. Seja como for, o projetista às vezes utiliza recursos que não se apoiam adequadamente em conhecimentos científicos. Neste ponto, parece-me parece que não é rara a possibilidade de haver uma certa tensão entre, por exemplo, engenheiros acadêmicos e projetistas, análoga àquela que várias vezes existe entre cientistas e engenheiros. Cientistas podem pensar que engenheiros não se aprofundam suficientemente no estudo das questões, permitindo que a curiosidade seja abafada por um senso estritamente prático. Engenheiros, por sua vez, podem acusar cientistas de estudarem problemas demasiado abstratos e idealizados, e de por isso não serem capazes de realizar qualquer coisa concreta, prática. Analogamente, engenheiros projetistas podem acusar engenheiros de orientação mais teórica (ou acadêmica) de não serem capazes de elaborar projetos concretos, detalhados, enquanto que engenheiros acadêmicos podem acusar projetistas de serem pouco rigorosos.

No entanto, se os conhecimentos disponíveis não são completos, ou se eles não são convenientes, parece-me lícito que o projetista procure lançar mão de sua experiência e intuição. Além do mais, o projeto é uma atividade que envolve aspectos econômicos, estéticos, de segurança, etc, ultrapassando as preocupações com o rigor do conhecimento mais características do engenheiro acadêmico. Estas diferenças entre engenheiros acadêmicos e projetistas é justificável, e não haveria motivo de disputa entre eles, se estas legítimas diferenças fossem adequadamente respeitadas. As disputas só ocorrem quando há exagero em uma das posições, ou em ambas, e cada qual quer impor seus valores e seu ponto de vista sobre a outra. Quando uma posição respeita e compreende as características da outra, não há lugar para disputas acirradas, e as dissidências podem ser

resolvidas em proveito de ambas. Todavia, estas disputas de fato ocorrem, e muitas vezes legitimamente, sugerindo que nem sempre é simples decidir quando se deve adotar uma postura mais teórica, e quando se deve adotar uma postura mais prática.

1.9 - Subsídios para a realização

As ciências tecnológicas têm como principal tarefa o fornecimento de subsídios para o projeto e para a ação tecnológica em geral. Elas podem fazer isto de duas maneiras diferentes, porém fortemente inter-relacionadas. A primeira maneira enfatiza a teoria; a segunda, os procedimentos empíricos e experimentais.

1.9.1 - A teoria na tecnologia

As partes das ciências tecnológicas que enfatizam a teoria poderiam ser chamadas também de 'ciências aplicadas'. Elas ocupam-se principalmente da aplicabilidade de teorias científicas na tecnologia. Possuem orientação acadêmica, mas também são praticadas na indústria.

Uma tarefa óbvia destas partes das ciências tecnológicas orientadas para a teoria é encontrar aplicação para as teorias fundamentais da ciência básica em problemas tecnológicos. No entanto, nem sempre estas aplicações podem ser feitas. Muitas vezes é necessário muito esforço para que as teorias fundamentais sejam aplicadas aos casos concretos e particulares desejados; simplificações e aproximações têm de ser utilizadas, a fim de possibilitar ou facilitar o cálculo das equações, ou de contornar a insuficiência dos dados. Outras vezes, nem mesmo aproximações e simplificações funcionam, e é necessário melhorar a teoria ou os seus modelos matemáticos. (Abordarei estas questões em maiores detalhes no capítulo VI.)

1.9.2 - Empirismo e experimentação

Nem sempre, porém, as ciências tecnológicas partem das teorias em direção à aplicação; às vezes elas situam a maior parte de seus esforços nos procedimentos empíricos e experimentais. Os resultados destes esforços costumam conduzir a expressões ou fórmulas empíricas, experimentais. E estas expressões podem eventualmente possuir um caráter mais geral. Não sugiro que estas generalizações empíricas sejam comuns; penso porém, que elas muitas vezes são obtidas. Muito menos suponho que as teorias fundamentais da ciência sejam extraídas das generalizações empíricas, pois princípios apriorísticos são normalmente introduzidos. O que pretendo enfatizar, no entanto, é que os recursos empíricos são por vezes os únicos de que se dispõe em certos casos, especialmente na tecnologia, onde há urgência de se chegar a resultados.

Na história e filosofia da ciência costuma-se superestimar a teoria, o que, a meu ver, deixa lacunas na compreensão da ciência, compondo às vezes um quadro inverossímil, em certos aspectos. Por exemplo, o contexto da justificação pode ser separado do contexto da descoberta e este último ser banido da filosofia da ciência, não restando nenhuma maneira de compreender, filosoficamente, ao menos parte do problema da descoberta científica, que no entanto faz parte da ciência. O valor da experimentação também tende a ser diminuído; o experimento fica a serviço da teoria, para testá-la ou confirmá-la, mas privado de qualquer autonomia ou autodeterminação.

Acredito que dados empíricos e resultados experimentais podem, em alguns casos, imediatamente sugerir uma teoria. Teorias científicas não podem prescindir de informações empíricas, e estas meras informações podem sugerir, às vezes, que se elabore alguma hipótese ou teoria, mesmo que rudimentar, e que talvez muito dificilmente teria sido elaborada ou desenvolvida de outra

forma. Em tais casos, o desenvolvimento teórico fica emaranhado e amalgamado ao que é conhecido empiricamente. Nestes casos, o conhecimento empírico se antecipa, solicitando um desenvolvimento teórico que dê conta deles; o desenvolvimento teórico é puxado e guiado, inicialmente, pelo conhecimento empírico, que se antecipa, constituindo o material a partir do qual se parte em direção à elaboração de conjecturas teóricas. Pois um conhecimento empírico deste tipo tende a expressar *regularidades* que ocorrem na natureza, e são justamente a tais regularidades que as teorias científicas se referem -- ou, melhor ainda, são as regularidades na natureza que possibilitam a existência de teorias científicas.

Um exemplo de dados empíricos importantes são as observações surpreendentes e inesperadas, que provavelmente jamais seriam imaginadas se não fossem observadas.

Por outro lado, existe a relação dos dados empíricos e resultados experimentais com a tecnologia. A tecnologia lida diretamente com o mundo real e concreto; por isso, a tecnologia tem amplo acesso aos detalhes e particularidades do mundo empírico. Ou seja, a tecnologia tem farto acesso a dados empíricos. Assim, ela fica bastante exposta a encontrar fenômenos inesperados, regularidades que não se suspeitaria existirem. Daí à proposição de hipóteses teóricas é só mais um passo. Além do mais, este acesso da tecnologia ao mundo empírico é rico em detalhes e sutilezas; é isto também que favorece às ciências tecnológicas o aperfeiçoamento de teorias ou de seus modelos matemáticos. Graças a seu envolvimento direto com o mundo, a tecnologia é capaz de influenciar o desenvolvimento teórico de várias e significativas maneiras. Devido a sua urgência em chegar a resultados práticos, a tecnologia vai de encontro ao mundo e dele recolhe dados que dificilmente seriam obtidos, não fosse esta persistência e determinação prática, imposta por motivações externas e utilitárias. (Voltarei a estes problemas no capítulo VI.)

II - ASPECTOS GERAIS

O senso comum pouco distingue entre ciência e tecnologia. Vistas do exterior e à distância, ciência e tecnologia tendem a ser confundidas. Para quem não está nem dentro nem perto, quer de uma comunidade científica, quer de uma comunidade tecnológica, ciência e tecnologia aparecem como atividades pouco diferenciadas entre si. A opinião pública em geral tende a ver a ciência e a tecnologia como uma mesma unidade.

Por outro lado, cientistas e tecnologistas tendem a distinguir entre ciência e tecnologia. Frequentemente eles procuram, ao menos tacitamente, estabelecer uma hierarquia valorativa entre ciência e tecnologia. Cientistas muitas vezes dizem que a ciência precede ou possibilita e viabiliza a tecnologia: a tecnologia seria apenas aplicação da ciência. Por isso a ciência intelectual ou cognitivamente superior à tecnologia -- que estaria sempre às voltas com problemas meramente práticos. O tecnologista, por sua vez, orgulha-se de sua capacidade de resolver problemas práticos e de ser efetivamente útil, possibilitando a *realização* de coisas concretas; neste caso, a cientistas tendem a ser acusados de serem pouco práticos, incapaz de realizações concretas úteis, devido à orientação puramente teórica, voltada para questões *abstratas* e *idealizadas*. Embora existam certas diferenças entre ciência e tecnologia, acredito que elas se situam muito mais no plano sociológico, institucional ou ideológico que no plano epistemológico. Também não acredito que estas disputas entre cientistas e tecnologistas contribuam significativamente para a compreensão das diferenças e relações entre ciência e tecnologia ao nível epistemológico.

Seja como for, o que desejo acentuar é o fato de que cientistas e tecnologistas só estão envolvidos nesta disputa,

acerca de quem executa o maior ou o melhor papel, porque existe de fato uma forte interação entre ciência e tecnologia.

Também não me creio que esta disputa entre teoria e prática se restrinja àquela entre engenheiros e cientistas. No capítulo anterior mencionei que tende a haver uma disputa análoga entre engenheiros de projeto e engenheiros acadêmicos. Engenheiros de projeto também tenderão a se desentender com os responsáveis pela execução ou manutenção, por estes não estarem seguindo com fidelidade e rigor as especificações de projeto. As questões práticas entram freqüentemente em atrito com as considerações abstratas e idealizadas. No entanto, as disputas entre "mais teóricos" e "mais práticos" não se restringem às dificuldades inevitáveis entre teoria e prática: freqüentemente elas situam-se sobretudo no plano ideológico e institucional.

Neste capítulo, abordarei aspectos genéricos da relação entre ciência e tecnologia, que poderiam interessar, imagino, a historiadores, sociólogos, filósofos, cientistas, engenheiros, e daqueles interessados nesta relação em geral.

2.1 - Metáforas

Pensar através de metáforas pode parecer mais fácil, sobretudo quando os objetos de análise são tão complexos quanto a ciência ou a tecnologia. Todavia, as metáforas também são mais imprecisas, menos detalhadas e menos esclarecedoras. Acima de tudo, metáforas não podem substituir análises pormenorizadas e aprofundadas. Além do mais, quando se utilizam metáforas, fica-se dispensado de definir ciência ou tecnologia com maior precisão. De qualquer maneira, algumas metáforas são ilustrativas, além de divertidas.

2.1.1 - Casamento

Uma divertida metáfora acerca da relação entre ciência e tecnologia é fornecida por Kranzberg [34]. Inspirando-se em uma

forma possível de uma relação conjugal, Kranzberg diz que a história sugere que ciência e tecnologia, embora atualmente casadas, tiveram um namoro longo e indiferente. Cada uma cresceu independentemente, quase ignorando a presença da outra. Mais do que isso, cada uma fazia questão de ignorar a presença da outra, ou de só notar essa presença expressando um desdém ostensivo. Ao chegarem à puberdade -- isto é, à revolução científica num caso, à revolução industrial no outro -- houve algum flerte, tentativas furtivas de tocarem as mãos, tímidos olhares e relutantes abraços. Mas quando se casaram, foi por conveniência e necessidade, e certamente não por amor. Necessidades militares contribuíram para a criação de um clima um tanto temerário e secreto. E o casal não viveu feliz para sempre. Apesar de cada parte manter um grau razoável de independência, ambas vieram a ter problemas de identidade. Discutem constantemente a respeito de quem contribui mais nesse casamento. Frequentemente brigam. Discutem acerca das responsabilidades mútuas, da educação dos herdeiros, e, é óbvio, acerca do orçamento familiar. Mas trata-se de um casamento moderno, sem submissão de uma parte à outra. Ciência e tecnologia vivem independentemente, embora coordenadamente, como se tivessem uma conta bancária conjunta e um único automóvel. O divórcio é frequentemente discutido, mas invariavelmente rejeitado, pois o escândalo com certeza destruiria a imagem pública de ambas as partes -- e também porque, talvez, não queiram renunciar aos prazeres da convivência, incluindo as trivialidades à cama.

Há porém dois pontos importantes da interpretação que Kranzberg faz deste casamento entre ciência e tecnologia com os quais não estou de acordo. Kranzberg acredita que este é um casamento de necessidade e conveniência apenas, e absolutamente não de amor. Discordo disso. Embora necessidade e conveniência sejam provavelmente os fatores preponderantes da relação, acredito que também ha uma considerável parcela de genuína afinidade. Talvez este amor não tenha sido muito notado no início, mas foi se tornando cada vez mais visível à medida que o

casamento foi amadurecendo, que os cônjuges foram se conhecendo melhor, e partilharam alguns problemas. O respeito e a apreciação ou admiração mútuos entre ciência e tecnologia não reside apenas no auxílio que cada uma pode prestar à outra. Além do interesse na ajuda recíproca, o que aproxima ciência e tecnologia também é a existência de problemas e interesses comuns. As ciências tecnológicas são provavelmente o exemplo mais notável e evidente de amor tanto à ciência quanto à tecnologia, simultaneamente. Este amor duplo existe, ainda que frequentemente se incline mais de um lado que do outro.

O segundo ponto com o qual não estou em acordo com Kranzberg é a questão da independência. Não acredito que o amadurecimento da ciência e da tecnologia modernas tenha se dado de um modo tão independente quanto deseja Kranzberg. Nem tampouco acredito que elas sejam parceiras tão independentes quanto Kranzberg parece acreditar. Embora acredite que de fato existe um certo grau de autonomia e independência entre ciência e técnica, que são, grosso modo, distintas e diferenciadas, penso que ciência e tecnologia são fortemente interdependentes, ao contrário do que Kranzberg está inclinado a reconhecer.

No entanto, é interessante observar que este casamento alegórico narrado por Kranzberg, representando a relação entre ciência e tecnologia, seria talvez mais verossímil se "tecnologia" aí fosse interpretado mais próximo do sentido de técnica que sugeri no capítulo anterior, do que de tecnologia -- isto é, de técnica adicionada de conhecimento (científico).

2.1.2 - No país dos espelhos

Layton [43] conta uma variação de Carroll, *Alice no país das Maravilhas*. O próprio Layton mostra-se um tanto identificado com Alice. Nesta versão, existe um lugar de cada lado do espelho: um chamado "ciência", outro "tecnologia". Alice tem dificuldade em diferenciar um lado do outro, pois em cada um as pessoas parecem estar fazendo o mesmo tipo de coisas. Por exemplo, dos

dois lados há pessoas realizando experimentos, desenvolvendo teorias, projetando instrumentos tecnológicos, ainda que a proporção de pessoas empenhadas em tais tarefas seja diferente em cada lado. As diferenças, embora existentes, são freqüentemente sutis, e Alice, achando tudo isso confuso, interroga se há uma diferença realmente importante entre estar de um lado ou do outro do espelho. Um outro exemplo: Alice toma um livro intitulado "Termodinâmica", e quando ela olha este livro através do espelho o título torna-se "Engenharia Termodinâmica".

Nesta versão, Alice dispõe também de uma máquina do tempo. Quanto mais recua ela no tempo, menos similaridades existem entre cada lado do espelho. Do lado da ciência, Alice recua até os fundadores da ciência moderna, e antes deles vêm os filósofos gregos, os sacerdotes babilônicos; suas preocupações, ao que parece, eram com teorias, ou com o conhecimento apenas. Do lado da tecnologia, porém, as mudanças eram ainda mais dramáticas. Teorias e experimentações diminuam, embora sem desaparecerem completamente. À medida que Alice voltava no tempo, os tecnologistas diminuam, em proporção aos cientistas, até serem totalmente substituídos por artesãos, agricultores, enfim, por trabalhadores fazendo ou criando coisas.

Mas embora as diferenças acentuem-se em direção ao passado, Alice observa que em certos pontos algumas pessoas tendem a aparecer nos dois lados do espelho. Por exemplo, James Watt e Benjamin Franklin no século XVIII, artistas-engenheiros na Renascença -- como Leonardo da Vinci -- construtores de catedrais, engenheiros helênicos. Mas é aproximando-se do presente que é mais comum encontrar as mesmas pessoas dos dois lados do espelho -- os laboratórios industriais ilustram muito bem este ponto. As coisas tornam-se cada vez mais complexas, e o espelho torna-se cada vez mais permeável. Alice conclui que *as diferenças são importantes em certos casos, mas em outros não*. Alice observa ainda que, nos dois lados, algumas pessoas parecem excessivamente preocupadas em determinar o que deve ser creditado a quem, que para Alice não parece constituir uma questão de muita

importância.

2.2 - Conhecimentos, aplicações, instituições

2.2.1 - Mito da ciência "pura"

Para H. A. Shepard [59], é muito difícil distinguir a pesquisa básica da aplicada, porque de nada adianta dizer que a primeira é motivada pela curiosidade desinteressada, deve ser honesta na condução e apresentação do trabalho e está interessada sobretudo na extensão das fronteiras do conhecimento. Pois não parece razoável exigir que o cientista não tenha interesse em sua própria carreira, por exemplo. Quanto às questões da honestidade e da extensão da fronteira do conhecimento, não é possível ver porque elas não poderiam valer também para pesquisas aplicadas.

Por isso, Shepard prefere estabelecer a distinção com base nas atitudes, objetivos e valores dos pesquisadores, os quais permitem a construção do "sistema social da ciência pura". Todavia, não me parece que Shepard tenha sido melhor sucedido em caracterizar o sistema social da ciência pura. Ele chega a absurdos, como ao afirmar que os valores que os cientistas devem perseguir são: a honestidade, a humildade, a objetividade, a disciplina, a curiosidade, a criatividade, o rigor, o trabalho. Ora, estes valores são desejáveis para qualquer pessoa, independentemente do fato dele ser um cientista, um tecnologista, ou qualquer outro profissional.

As coisas pioram quando Shepard observa que o sistema social da ciência pura precisa se manter, precisa garantir sua subsistência, sua reprodução, e tudo isso sem admitir a corrupção, o que implica em completa fidelidade aos valores científicos. Para Shepard, o cientista "puro" se corrompe quando se preocupa mais com a aplicação ou com a invenção tecnológicas do que com a ampliação do conhecimento científico. Mas isto é absurdo; o próprio Shepard reconhece que a preocupação com a aplicação também pode conduzir à ampliação do conhecimento. Mais

absurdo ainda é a afirmação de que, para evitar a corrupção, o sistema social da ciência pura pretende se manter *fechado*, estudando problemas que sejam irrelevantes para o restante da sociedade, a fim de se manter isolado dela. Shepard afirma ainda que o cientista "corrupto" deve ser *proscrito*.

Shepard reconhece que tal sistema social nunca existiu completamente, embora permaneça como um ideal, concretizado de modo aproximado.

É impressionante que, em 1956, Shepard ainda tenha escrito um artigo como este, mais próximo das práticas mágicas, alquímicas ou sagradas que da ciência.

2.2.2 - Relações industriais da ciência

Muito mais significativo é o trabalho de Servos [58]. Ele analisa as relações da indústria com o MIT, *Massachussets Institute of Technology*, na década de vinte, um caso célebre das relações entre indústria e universidade.

Nas primeiras décadas deste século, o MIT possuía uma reputação excelente tanto em pesquisa básica quanto aplicada. Porém, havia no MIT dois projetos para aquela a engenharia química naquela instituição, conflitantes entre si. Um grupo queria transformar o MIT de uma escola de engenharia numa universidade voltada para a pesquisa básica. Isto era importante, porque, para esse grupo, a melhor maneira de formar bons engenheiros seria dar-lhes sólidos conhecimentos dos princípios gerais da ciência e treiná-los na pesquisa básica. Dessa forma, os alunos estariam melhor preparados para enfrentar os problemas específicos da engenharia. Insistir no ensino dos detalhes de engenharia prática seria vantajoso apenas inicialmente, pois o aluno disporia de conhecimentos menos flexíveis, de métodos de menor alcance, e não seriam capazes de ir muito além do que haviam aprendido.

Para o outro grupo, porém, conhecimento de leis, teorias e métodos gerais significava apenas parte do que era

necessário. O aluno deveria estar familiarizado, para poder enfrentar os práticos cotidianos, com as condições reais de trabalho na engenharia. Para isso, seria necessário compreender inclusive problemas como as limitações impostas pelos custos de materiais, o aproveitamento de subprodutos e até a documentação dos trabalhos para fins de utilização em patentes ou na administração. Quanto ao currículo, deveria ser organizado em torno das operações básicas da engenharia química, como a destilação, filtração, condensação, etc. É importante observar que este grupo não queria colocar em segundo plano a pesquisa na instituição, pelo contrário. A diferença é que, neste segundo projeto, acreditava-se que a pesquisa mais importante era a aplicada.

Esses dois projetos conviveram juntos cerca de uma década, mas após a Primeira Guerra a situação se tornou insustentável, tornando-se necessário escolher um dentre eles. A situação era mais favorável para o projeto que dava ênfase à pesquisa aplicada e voltava-se para o ensino mais próximo da prática da engenharia. Este segundo grupo conseguiu, no início da década de vinte, impor o seu projeto ao MIT.

Inicialmente, o projeto foi um sucesso, conseguindo atrair recursos e encomendas de pesquisa da indústria para a universidade. No entanto, logo surgiram os problemas. Na maioria dos contratos, as indústrias queriam respostas a problemas bastante específicos, de interesse para apenas uma indústria em particular -- como por exemplo saber qual o melhor método de manufaturar barris de óleo. E quando as pesquisas eram de caráter mais geral -- como investigação sobre corrosão, viscosidade de fluidos, absorção e extração de gases, etc. --, era comum os financiadores vetarem a publicação dos resultados. Além disso, outras dificuldades surgiam do fato de os contratos serem anuais, gerando uma dependência da continuidade desses os contratos, sem o que não seria possível manter as instalações e um pessoal de alto nível.

A natureza técnica estreita ou específica de muitas

investigações e as limitações à publicação, frequentemente impostas pelos financiadores, tornavam o Laboratório de Pesquisa de Química Aplicada do MIT cada vez mais semelhante a uma empresa de consultoria comercial e menos a uma instituição educacional. Não havia praticamente nenhum mecanismo que permitisse à universidade selecionar as pesquisas que seriam admitidas. O MIT começou a perder seu prestígio como instituição de pesquisa básica, e a enfrentar problemas com a manutenção de sua infra-estrutura financeira, devido à inconstância dos contratos com as indústrias.

Aqueles que implantaram essa orientação ao MIT o haviam feito porque eles acreditavam numa identidade de interesses entre os homens de negócios e os cientistas aplicados. No entanto, os pesquisadores tornavam-se cada vez mais convencidos de que havia uma necessidade de maior independência, de modo que os próprios pesquisadores pudessem julgar quais eram as melhores oportunidades de pesquisa. Segundo Servos, dois fatores pesavam nessa avaliação dos pesquisadores. Um destes fatores eram as limitações impostas pelos financiadores. O outro decorria do caráter cada vez mais abstrato da própria engenharia química. Para os pesquisadores, não era mais suficiente incrementar os procedimentos industriais; era necessário que os engenheiros químicos estivessem livres para, através de seus próprios critérios, voltarem-se para o aprofundamento de seus conhecimentos -- qualitativos e quantitativos -- acerca de troca e transferência de calor, reações sob condições de alta temperatura e pressão, absorção de gases, etc. Embora esses problemas se originassem na indústria, frequentemente eles conduziam os pesquisadores para longe das investigações tecnológicas imediatamente aplicáveis. Consequentemente, nem sempre os industriais estavam dispostos a financiar estas pesquisas. Por isso é que os pesquisadores passavam a sentir uma crescente necessidade de poderem dispor de subsídios que não acarretassem em restrições à liberdade deles próprios definirem livremente seus projetos de pesquisa.

A estrutura do MIT teve de ser reformulada, não para evitar a relação com a indústria, mas para disciplinar esta relação de modo a não comprometer o funcionamento da instituição.

2.2.3 - Pesquisa e aplicação

Geiger [21] discute as relações entre a universidade e a indústria, em geral. O caso do MIT, que abordei acima, representa um caso particular desta problemática. O problema se resume em harmonizar o interesse da universidade, a pesquisa, com o interesse da indústria, a aplicação. Se os interesses pendem demais para o lado da pesquisa, a universidade deixa de cumprir uma de suas funções sociais importantes e fica isolada. Por outro lado, se a busca de aplicações imediatas é enfatizada, a pesquisa fica demasiadamente cerceada, o que compromete seu desenvolvimento. Geiger analisa os mecanismos contratuais, organizacionais e institucionais criados para harmonizar a pesquisa e a aplicação, que representa um interesse genuíno da universidade e da indústria.

* *

O problema da relação entre pesquisa e aplicação, ou melhor, entre o valor da pesquisa motivada pela curiosidade desinteressada e a pesquisa motivada por interesses práticos ou sociais, é discutido por Price [50].

A conclusão de Price é de que alguma parcela da pesquisa deve ser feita sem o interesse de atender algum fim imediato -- não importa se este fim é a aplicação tecnológica, o ensino, ou qualquer outro. Price observa que o objetivo poderá ser melhor satisfeito se o encarregado de obtê-lo tiver um conhecimento adequado de sua área de atuação, para o que ele deverá dedicar parte de seu tempo para adquirir estes conhecimentos e para manter-se atualizado. Por exemplo, para realizar uma pesquisa tecnológica, o pesquisador, para sair-se bem em sua tarefa, não deve atacar apenas seu problema

específico, sem dominar satisfatoriamente os conhecimentos científicos relativos a toda as áreas relacionadas significativamente a seu problema. E para ter estes conhecimentos, o pesquisador precisa dedicar um tempo para adquirir estes conhecimentos e manter-se atualizado -- incluindo conhecimentos acerca de experimentação.

* *

No mesmo artigo, Price faz algumas considerações interessantes. Ele observa que *detalhados estudos históricos da ciência e da tecnologia conduzem ao reconhecimento de que as relações entre elas estão longe de serem simples*. Na história da ciência, observa Price, a tecnologia entra tanto como provedora de novas oportunidades de estudos, por meio de processos, substâncias e aparatos antes inexistentes, quanto como provedora de interessantes problemas, que surgem nas indústrias e terminam nos jornais científicos -- como ocorreu com Pasteur, por exemplo. Por outro lado, na história da tecnologia, mesmo nos casos extremos como do transistor, da penicilina, do computador ou do laser, após estabelecidos os fundamentos primários para a obtenção de uma tecnologia, os progressos seguem muito mais através dos meios e dos métodos da própria tecnologia do que à luz dos conhecimentos científicos. Price deixa bem claro, porém, que isso não significa a afirmação de um ponto de vista diametralmente oposto ao que vê na tecnologia uma mera *aplicação* da ciência, pois ambas as posições são impóprias e simplistas. Para ele, o *mais apropriado talvez fosse considerar a ciência tanto a quintessência extraída da tecnologia, quanto provedora de elementos essenciais para a obtenção de mais tecnologia*. São o mercado e as necessidades humanas que nos induzem a tentar obter novas tecnologias cujas possibilidades as descobertas científicas apenas estabelecem em princípio, sem indicarem exatamente tornar concretas essas possibilidades. Portanto, novas invenções em geral não decorrem de descobertas científicas, as quais fornecem apenas as bases iniciais de possibilidade, a partir das quais

pode-se escolher prosseguir ou não na tentativa de obter uma nova tecnologia, conforme o interesse e conveniência.

2.3 - Pela interação

Vários autores, entre eles Shrum [60], observam haver basicamente dois modelos para a relação entre ciência e tecnologia: os assimétricos e os interativos (ou simétricos). No modelo convencional, ou hierárquico, ou assimétrico, considera-se que só existe fluxo de conhecimentos numa única direção: da ciência para a tecnologia. Isto significa uma distinção no plano cognitivo entre ciência e tecnologia -- que também implica numa diferenciação no plano socioológico. No modelo interativo ou simétrico, ao contrário, obviamente, existe uma interação no plano cognitivo, e o fluxo de informações não tem uma direção preferencial.¹

¹ A. R. Hall [] é um dos mais influentes defensores deste modelo hierárquico. Hall sustenta que a tecnologia desenvolveu-se lentamente, sem recorrer à teoria, até o final do século XIX, quando as teorias científicas tornaram-se suficientemente poderosas para serem aplicadas na tecnologia.

Molella e Reingold [46], no entanto, observam que Hall, ao subordinar a tecnologia atual à aplicação de teorias previamente desenvolvida pela ciência, persegue fortes motivações ideológicas. Hall e seus seguidores pretendem reagir àqueles que, ao contrário, querem subordinar o progresso da ciência às exigências da tecnologia. Molella e Reingold observam, porém, que raramente Hall ou seus seguidores oferecem evidências de que os tecnologistas não aplicavam nenhum conhecimento científico significativo antes da segunda revolução industrial. Molella e Reingold observam ainda que outros historiadores têm encontrado evidências que contrariam a tese de Hall. Além do mais, Molella e Reingold questionam, em vista de certas pesquisas históricas, até que ponto o "puro empirismo" e ensaio-e-erro dos tecnologistas

Os defensores do modelo interativo, por sua vez, podem ser divididos em dois subgrupos: os que defendem uma diferenciação entre ciência e tecnologia no plano social, e os que rejeitam esta distinção. Shrum pertence ao segundo subgrupo, argumentando que ciência e tecnologia formam um grande sistema holístico.

Concordo que entre ciência e tecnologia haja uma interação ao nível epistemológico. Todavia, dizer há uma forte interação não é o mesmo que negar quaisquer diferenças. Shrum termina por identificar completamente ciência e tecnologia, negando qualquer distinção significava entre elas, no plano sociológico ou cognitivo -- o que me parece um exagero e um equívoco.

Barnes [1] também faz algumas considerações sobre os modelos simétrico e assimétrico da relação entre ciência e tecnologia. O modelo hierárquico ou assimétrico considera a tecnologia subordinada à ciência. Neste modelo, observa Barnes, a ciência é considerada uma atividade criativa, que estuda a natureza e faz descobertas, as quais são aplicadas na tecnologia, que apenas utiliza o conhecimento científico. Este uso que a tecnologia faz da ciência é rotineiro, e consiste em deduzir as implicações dos conhecimentos científicos ou das teorias científicas. Neste caso, não há fluxo (nem refluxo) de conhecimento da tecnologia para a ciência -- daí a assimetria. Uma consequência deste modelo é o de a tecnologia ser considerada como dependente do estado e dos progressos da ciência; neste modelo, uma tecnologia e será tanto melhor quanto mais correta e rapidamente puder obter as implicações contidas nos conhecimentos científicos do momento considerado, enquanto que a ciência é considerada como independente da tecnologia -- ou ao menos pensa-se que a dependência da ciência em relação à tecnologia é irrelevante.

O modelo interativo, por sua vez, segundo Barnes, não

podem ser considerados não-científicos.

subordina a tecnologia à ciência, mas trata-as como parceiras. Este modelo considera que a ciência desenvolve-se predominantemente a partir da própria ciência, do estágio imediatamente anterior da ciência, e também que novas tecnologias desenvolvem-se predominantemente a partir de tecnologias mais velhas. Dessa maneira, o modelo interativo considera ciência e tecnologia independentes entre si. Todavia, o modelo considera também que existe uma relação simbiótica entre elas, ou seja, a existência de uma interação entre ciência e tecnologia que traz benefício a ambas. O modelo interativo reconhece que descobertas ou avanços na ciência não bastam, em geral, para a aplicação tecnológica, sendo necessário inclusive mais pesquisas -- "pesquisas tecnológicas". O modelo interativo tende ainda a negar que a presença de fins utilitários, em vez de puramente cognitivos, implique sempre ou necessariamente em uma inferioridade cognitiva da tecnologia. Na verdade, o modelo interativo procura mostrar que o exercício cognitivo voltado para problemas práticos necessita de um tipo de vigor e disciplina intelectual próprio, peculiar, inexistente ou incomum na ciência básica, dita "pura" -- e por isso ela não basta para a aplicação prática.

De minha parte, prefiro alguma versão do modelo interativo. A seguir, procuro explicitar um pouco melhor minha posição.

2.4 - Reações em cadeia

Algumas considerações de Kranzberg [34] ajudam a compreender melhor as interações entre ciência e tecnologia.

Em primeiro lugar, Kranzberg ressalta a importância que a instrumentação desempenha na ligação entre ciência e tecnologia. Ele sugere que a grande criatividade na ciência, atualmente, não é consequência simplesmente de os cientistas terem se tornado mais criativos. Uma das razões para o aumento desta criatividade deve-se ao fato de que atualmente se dispõe de

melhores instrumentos. Kranzberg enfatiza as *relações entre teorias e experimentos* na ciência, ilustrando seu ponto de vista através da figura de Galileu, o qual costuma ser considerado o primeiro cientista no sentido moderno -- embora os helênicos merecessem uma menção -- e que contribuiu tanto para a ciência quanto para tecnologia, inclusive através da invenção e construção de diversos instrumentos. Kranzberg relembra uma série de desenvolvimentos sucessivos na ciência e na tecnologia: uma peculiaridade nas bombas de sucção -- ou seja, que a água não subia acima de certa altura -- intrigou Galileu e seu discípulo Torricelli; a continuação das pesquisas conduziu à conclusão de que o ar tem peso, conclusão esta que, por sua vez, levou à invenção de um instrumento, o barômetro, o qual, ainda, foi utilizado por Boyle, permitindo a descoberta de sua lei para os gases.

Kranzberg utiliza esta sequência de desenvolvimentos para ilustrar uma conclusão que na minha opinião é das mais importantes para a compreensão da relação entre ciência e tecnologia. A conclusão de Kranzberg é de que um instrumento tecnológico pode conduzir tanto a um novo instrumento (tecnológico) quanto a um avanço na ciência, e que um avanço científico também pode conduzir tanto a um novo avanço na ciência quanto a um novo instrumento tecnológico. Tanto uma invenção tecnológica quanto uma descoberta científica pode produzir ou iniciar uma sequência de novas descobertas científicas ou de novos desenvolvimentos tecnológicos; cada uma pode induzir uma sequência de desenvolvimentos. Em resumo, conclui Kranzberg com muita propriedade, *que o potencial da associação entre ciência e tecnologia é o de uma reação em cadeia de descobertas científicas e invenções tecnológicas.*

Para mim, esta, figura da cadeia de reações exibe de maneira muito feliz um aspecto fundamental da interação entre ciência e tecnologia. Kranzberg observa que a ciência deseja *'saber por que'*, enquanto que a tecnologia deseja *"saber como"*, mas que, quando ciência e tecnologia se associam, resultam

reações em cadeia de descobertas científicas e de invenções tecnológicas.

* *

Kranzberg observa que o desenvolvimento da ciência e da tecnologia é influenciado por fatores internos e externos. A tecnologia, obviamente, é fortemente influenciada por fatores externos, o que não impede que ela também, a exemplo da ciência, possua uma dinâmica interna capaz de criar seus próprios problemas.

Devido à importância da ciência para a tecnologia, a influência externa pressiona para que se intensifique a interação entre estas disciplinas, a fim de resultem vantagens práticas.

Todavia, também a dinâmica interna da ciência e tecnologia modernas pressiona a interação entre elas. Segundo Kranzberg, isto ocorre sobretudo devido a complexidade dos problemas científicos e tecnológicos, que tem se tornado cada vez maior. Relacionado a isto, existe a complexidade dos instrumentos, na ciência e na tecnologia. Não se pode negar que, sem a participação da ciência, muitos problemas tecnológicos não poderiam ser tratados ou resolvidos. Muitos problemas tecnológicos sequer existiriam, não fosse a ciência -- inclusive problemas acerca de instrumentos tecnológicos. Mas com os problemas científicos as coisas não são muito diferentes. Muitos problemas científicos não poderiam ser tratados ou resolvidos sem a utilização de instrumentos, por vezes bastante sofisticados, que são projetados, construídos, reformados, consertados e freqüentemente operados por engenheiros. De modo geral, os problemas científicos e os tecnológicos podem ser -- e freqüentemente são -- tão complicados que exijam o esforço conjunto e combinado de cientistas e engenheiros para que possam ser resolvidos. Mais que isto, exigem a participação de grandes equipes, não raro multidisciplinares.

Eu diria que, em outros termos, tecnologistas, os quais se interessam basicamente em saber como fazer coisas

("Know-how"), e não tanto em compreender como a coisas são ("know-why"), cada vez mais se dão conta de que, para poderem saber fazer, é preciso compreender. Os tecnologistas cada vez mais se convencem de que não poderão fazer muitas coisas a menos que também as compreendam (cientificamente). E aí cabe a cooperação do cientista. De modo similar, em muitos casos os cientistas percebem que, a fim de conhecerem mais acerca de algo, precisam também saber fazer várias coisas, como dominar técnicas experimentais, saber lidar com equipamentos, construir e aperfeiçoar a instrumentação. E aí cabe a cooperação do engenheiro. Em resumo, quando se trata de uma instrumentação sofisticada, tanto cientistas quanto tecnologistas precisam saber tanto "como" quanto "por que". Seria possível fornecer muitos exemplos disto. Apenas dois, citados pelo próprio Kranzberg: computadores são um desenvolvimento científico ou tecnológico? Viagens espaciais são um empreendimento científico ou tecnológico?

O potencial da associação entre ciência e tecnologia está em princípio sempre presente, mesmo que não tenha ainda sido notado. Pois, mesmo em setores onde ciência e tecnologia tenham se desenvolvido isoladamente, ninguém sabe se ou quando poderá haver uma explosão que detonará uma reação em cadeia de interações entre elas.

2.5 - Mais sobre a interação

Em minha opinião, o modelo interativo está em melhores condições de atender à complexidade e diversidade encontrada nas relações entre ciência e tecnologia. Por exemplo, acredito que cada passo, seja na ciência ou na tecnologia, é potencialmente capaz de desencadear, em princípio, novos passos tanto na ciência quanto na tecnologia, e mesmo de iniciar uma reação em cadeia de desenvolvimentos científicos e ou tecnológicos. Vejamos quais parecem ser, em minha opinião, todas as possibilidades todas de interação entre ciência e tecnologia -- embora trate-se apenas de

uma análise abstrata, geral e simplificada.

Como não podia deixar de ser, uma possibilidade é a aplicação de conhecimentos científicos na tecnologia. Neste caso, existem previamente conhecimentos científicos dos quais se pode dispor para aplicações práticas. Há então um fluxo de conhecimentos -- científicos, neste caso -- da ciência para a tecnologia. A tecnologia aplica diretamente conhecimentos científicos, ou deriva deles implicações práticas, dedutivamente.

Uma segunda possibilidade é o fluxo de conhecimentos -- tecnológicos, neste caso -- na direção contrária, isto é, da tecnologia para a ciência. A maneira mais simples disto ocorrer é quando existe alguma tecnologia disponível que possa ser utilizada na ou para a pesquisa científica. Com os instrumentos tecnológicos, por exemplo, podem ocorrer duas coisas: esses instrumentos podem ser utilizados em alguma pesquisa científica, ou então serem utilizados em pesquisas científicas voltadas para o estudo desses próprios instrumentos, de seu funcionamento e das razões desse funcionamento.

O que estas duas primeiras possibilidades têm em comum é a existência prévia de um ponto de partida -- conhecimento científico no primeiro caso, tecnologia no segundo. Mas outras possibilidades complementares surgem quando há a perspectiva de formação de uma nova área, na qual ainda não se disponha nem de conhecimentos científicos, nem de tecnologias. Neste caso, é possível apontar mais três possibilidades básicas. A primeira delas é iniciar uma nova área de invesgação científica. Mas como a ciência praticamente não avança se não existem técnicas experimentais e instrumentos para a investigação científica, então quase certamente será necessário desenvolver ao mesmo tempo uma tecnologia científica. Portanto, o desenvolvimento científico naquela nova área trará também o desenvolvimento de uma tecnologia científica correlata. Observe-se que, uma vez alcançado algum conhecimento científico na nova área, fica-se na mesma situação, ao menos em princípio, em que é possível aplicar conhecimentos científicos na tecnologia, em que é ao menos

possível derivar implicações da ciência para a tecnologia. Os próprios instrumentos científicos construídos para a pesquisa científica podem ser o ponto de partida da aplicação tecnológica.

Uma segunda possibilidade, na ausência de conhecimentos científicos e tecnologias em uma área nova, é a contrapartida da anterior. Ou seja, é possível abordar a nova área tentando desenvolver uma tecnologia, mesmo sem que haja conhecimento científico naquela área. Para isto pode-se proceder de modo empírico, ou mesmo recorrer a tentativas intuitivas e um tanto arbitrárias. Cabe observar porém que procedimentos empíricos podem perfeitamente ser científicos, em minha opinião, desde que este "empirismo" seja metódico e sistemático. Acredito que tende a haver uma prevenção errônea quanto a considerar resultados empíricos como cientificamente relevantes. O método de variação de parâmetros, por exemplo, é um método empírico perfeitamente científico. Caso este esforço para desenvolver uma nova tecnologia -- em uma nova área, na qual não se dispõe também de conhecimentos científicos -- consiga chegar a algum resultado satisfatório, é bem provável que este resultado obtido na tecnologia interesse também à ciência. De maneira análoga ao caso anterior, retorna-se aqui ao caso em que se dispõe de tecnologias que podem favorecer pesquisas científicas, inclusive acerca daqueles próprias tecnologias. Dessa maneira, estas tecnologias -- tais como instrumentos ou processos -- podem constituir o ponto de partida ou o início de pesquisas científicas.

Resta ainda uma possibilidade lógica, diante de uma área nova, na qual não se dispõe de conhecimentos nem científicos nem tecnológicos. Trata-se da possibilidade de se desenvolverem conhecimentos científicos e tecnologias simultaneamente.

Depois de apontar estas formas possíveis de relação entre ciência e tecnologia, retorno um pouco às possíveis reações em cadeia. Qualquer progresso na ciência pode, segundo acredito, permitir ou provocar um novo progresso, quer na própria ciência, quer na tecnologia. Do mesmo modo, qualquer progresso na tecnologia pode possibilitar ou induzir a um novo progresso, quer

na própria tecnologia, quer na ciência. Portanto, cada progresso, quer na ciência, quer na tecnologia, pode iniciar uma cadeia de desenvolvimentos subsequentes, na ciência, na tecnologia, ou em ambas. Pensando agora nas possíveis formas de relações indicadas esquematicamente acima, pode-se ter alguma idéia das múltiplas possibilidades de compor cadeias de desenvolvimento na ciência e na tecnologia. O desenvolvimento pode começar por um modo de relação entre ciência e tecnologia, depois passar para outro, depois retornar para o primeiro, daí para passar para um terceiro, e assim por diante. Um desenvolvimento na ciência ou na tecnologia pode desencadear progressos tanto na primeira quanto na segunda, e em ambos os casos esses progressos podem provocar novos desenvolvimentos quer na ciência quer na tecnologia, e assim por diante. E cada novo progresso em uma ou em outra pode interagir com todos os resultados anteriores acumulados na ciência ou na tecnologia.

Acredito que a interação é realmente complexa, diversificada, com diferenciações e peculiaridades de caso a caso, conforme deixa entrever o argumento que esbocei acima. Embora acredite que ciência e tecnologia sejam até certo ponto distintas e diferenciadas -- pois ciência e técnica são basicamente independentes -- acredito também que elas permaneceriam praticamente estagnadas se não interagissem significativamente entre si. Sem esta interação ciência e tecnologia pouco se desenvolveriam e evoluiriam, e o fariam muito lentamente.

2.6 - Finch

O artigo de Finch [19], um engenheiro civil que escreveu também acerca da história da tecnologia, pode servir para ilustrar a complexidade e variedade de problemas envolvendo a relação entre ciência e tecnologia.

Finch sugere que grandes conquistas tecnológicas foram alcançadas através da experiência prática, de tentativas e de

observações. Exemplos destas conquistas: engenho a vapor, locomotivas, rodas d'água, motores de explosão. Todavia, sugerir, como parece fazer Finch, que tais invenções nada devem à ciência, ou que não utilizaram conhecimentos científicos, parece-me equivocado. Trata-se de meia-verdades, pois, se estas tecnologias de fato apoiaram-se fortemente sobre práticas empíricas, elas também consideraram ao menos alguns princípios científicos (ver capítulo III).

De qualquer modo, Finch está cheio de razão, acredito, quando observa que a invenção de coisas e de processos é uma atividade que pode ser -- e tem freqüentemente sido -- perseguida de maneira mais ou menos independente da atividade de descobrir a natureza destas coisas e processos e de desvendar as leis que as regem. Como diz Finch, a falta de um entendimento mais preciso nunca foi uma barreira intransponível que impedisse o homem de procurar atender suas necessidades e desejos.

Focalizando a antiguidade, Finch refere-se aos egípcios, que manifestaram interesses eminentemente práticos, procurando apenas saber "como" melhor utilizar seus recursos, sem perguntar o "por quê" de seus métodos e regras simples derivados da experiência funcionarem. Para Finch, foram os gregos que organizaram, sistematizaram, clarificaram e estenderam conhecimentos empíricos anteriores. Finch observa que, *embora o progresso científico tenha algumas vezes proposto aplicações práticas, é ainda mais freqüente métodos técnicos pré-existentes fornecerem dados para descobertas científicas*. Assim, a geometria, por exemplo, baseou-se em regras práticas de agrimensura, e a ciência da mecânica explicaria alguns dos artefatos mecânicos longamente conhecidos e utilizados. Apesar disso, os gregos desprezavam a aplicação prática -- provavelmente em decorrência de sua sociedade escravagista. Arquimedes, por exemplo, famoso e respeitado por suas invenções mecânicas, professava ele próprio desprezo por estas invenções, que

considerava sem importância e indigna de serem lembradas.² Já os romanos, que foram os maiores dos engenheiros antigos, tinham muito pouco interesse na ciência.

Seja como for, os tecnologistas da antiguidade conseguiam desempenhar suas tarefas, às vezes com um discernimento surpreendente, ainda que puramente qualitativo e técnico. Para Finch, o principal papel da ciência na engenharia, ao contrário do que se costuma pensar, é o de atuar dentro da própria engenharia -- ao invés de orientá-la de fora -- no sentido de tornar as técnicas de engenharia mais racionais, exatas e quantitativas, pois *cada arte prática contém o germe de uma ciência prática*. Uma das mais óbvias contribuições da ciência na engenharia é, por exemplo, a de evitar o "superdimensionamento" -- isto é, a utilização, nas obras

² De acordo com Hacker [24], supõe-se tradicionalmente que Arquitas de Tarento e Eudoxo de Cnido (por volta do início do século IV AC) fundaram a ciência da mecânica, *utilizando demonstrações mecânicas para resolver problemas geométricas que eles não podiam provar rigorosamente*. Hacker observa que tais procedimentos foram posteriormente rejeitados pelos geômetras, embora Arquimedes utilizasse um método mecânico para chegar a conclusões geométricas *antes de demonstrá-las matematicamente, de modo rigoroso* (conforme atesta o historiador Dijksterhuis, o qual também afirma a fama de Arquimedes como inventor). Isto não impedia, porém, o desprezo de Arquimedes pelas invenções mecânicas. Apesar disto, e de sua fama como inventor, especialmente de engenhos de guerra, Arquimedes era conhecido por *repudiar como sórdido e ignóbil todo o ofício da engenharia, e toda a arte que volta-se meramente para o uso e o lucro*. (As afirmações de Hacker baseiam-se em escritos de Plutarco, e num trabalho do historiador Dijksterhuis sobre Arquimedes.)

Note-se a forte tendência entre os gregos de separar teoria e prática, e de considerar a primeira hierarquicamente superior à segunda.

técnicas, de mais material do que necessário. Ou seja, Finch acredita que a engenharia (nas áreas mais convencionais) é geralmente capaz de executar suas tarefas sozinha, e a ciência é requisitada apenas para otimizar essas técnicas, tornando-as mais eficientes e econômicas.

Finch lembra que Bacon e as academias de ciências não valorizavam o conhecimento em si mesmo, mas o conhecimento útil. No entanto, os pioneiros da ciência logo foram absorvidos pela física e matemática, deixando de lado não apenas as aplicações como também o que Finch chama de ciências "descritivas" -- como a geologia e a mineralogia, por exemplo. Finch considera o campo das construções, no qual prevaleciam as limitações de materiais e formas estruturais. Os problemas como as construções deviam-se sobretudo à falta de equipamentos adequados. Os projetos requeriam que as teorias fossem suplementadas por dados baseados em testes reais de materiais e instrumentos, isto para não dizer que muitas das primeiras teorias estavam erradas. Foram necessários muitos homens, tanto cientistas quanto engenheiros, e muitas gerações, para que mesmo os problemas mais simples de estática ou de resistência dos materiais pudessem ser clarificados. Neste ponto, para Finch, o desenvolvimento de máquinas e de instrumentos de medida, e de técnicas de teste foi não apenas essencial para as técnicas de construção, como também tiveram, indubitavelmente, alguma influência sobre o crescente recurso à instrumentação e às medidas reais que caracterizou os progressos científicos do século dezoito. Segundo Finch, ciências naturais e ciências tecnológicas desenvolveram-se simultaneamente, cada qual fazendo clarificações de interesse comum. Neste avanço, testes e medidas tiveram um papel vital tanto na revelação de idéias novas quanto na correção das errôneas. Assim, em vários campos, a experiência e as tentativas de muitos era requisitada para corrigir concepções equivocadas. Um exemplo deste processo foram os laboratórios de pesquisa industrial nas tecnologias mais modernas, como por exemplo o da Kodak, que foi um dos primeiros a adotar uma estratégia de

pesquisa tida como revolucionária, na qual uma pesquisa organizada é efetuada por uma equipe de trabalho, prevendo-se conferências periódicas para a troca de idéias, e utilizando-se assistentes técnicos para os testes e medidas de rotina. Tais laboratórios contribuíram -- e contribuem -- para o aumento do conhecimento científico, apesar de estarem voltados sobretudo para problemas de produção e de custo-qualidade. Nos ramos mais tradicionais da engenharia, a ciência e a pesquisa têm menos peso, mas ainda assim são utilizadas, com o intuito de refinar, aprimorar, estender, modificar ou inovar as técnicas tradicionais.

2.7 - Smith

Smith [63] é um destacado metalurgista, também conhecido por seu trabalho na história da metalurgia. Para ele, o desenvolvimento da metalurgia deve muito pouco à ciência, ao menos até o século XIX, quando a ciência tornou-se fundamental para o desenvolvimento da metalurgia. Todavia, mesmo hoje, o principal papel da ciência tem sido explicar fenômenos metalúrgicos conhecidos anteriormente -- em alguns casos, há mais de quatro milênios. Mesmo quando não motivado a aplicar a ciência, nem a incentivar o pensamento teórico através de seu conhecimento prático, mas apenas interessado em fazer algo, o artesão que faz experimentos com vários materiais, a fim de selecionar o melhor para seus propósitos, contribui para o desenvolvimento da ciência, e age de uma maneira similar à do cientista, conclui Smith, como o astrônomo que observa ou o mineralogista ou naturalista que classifica. O conhecimento teórico da natureza dos metais e suas reações têm raramente levado *diretamente* a novas descobertas, simplesmente porque o *experimentador empírico* já fez as descobertas antes da teoria. Para Smith, qualquer ramo da ciência tem de partir de um período pré-científico, no qual fatos são observados e registrados antes de poderem ser colocados dentro de um quadro teórico.

Portanto, Smith não considera que a metalurgia, a partir do século dezenove, tenha se transformado numa ciência aplicada, isto é, na aplicação de conhecimentos científicos -- no caso, derivados da química, especialmente, e mais recentemente também da física. No entanto, ele reconhece que certos desenvolvimentos teriam sido impossíveis apenas por meio do empirismo -- como é o caso de novos metais, particularmente o alumínio. Da mesma forma, o grau de controle necessário em processos metalúrgicos mais modernos não poderia ter sido alcançado sem a aplicação de conhecimentos científicos. Além do mais, este maior controle depende de conhecimentos mais precisos dos fenômenos envolvidos, e nisto a ciência tem um papel central -- quando menos, pelo fornecimento de novos meios para estudar os velhos problemas de metalurgia. A ciência, porém, em geral só tem sucesso quando trata de coisas abstratas e extremamente simplificadas. No entanto, a metalurgia tem de lidar com coisas consideravelmente complexas -- pois ela deve atender interesses práticos, sejam de natureza econômica, ou política, social, etc. -- e desta maneira é conduzida a problemas além da fronteira (atual) da ciência.

2.8 - Questões recorrentes

Observe-se que há alguns pontos que sempre aparecem nestas discussões, como o da oposição entre a prática, a experiência, a abordagem empírica, de um lado, e a teoria, do outro. Está sempre presente a questão da dependência ou independência da prática em relação à teoria, ou da teoria em relação à prática. Está sempre presente o problema da precedência da teoria sobre a prática, da prática sobre a teoria, ou de sua simultaneidade.

2.9 - A Sociedade Lunar

Os estudos de Schofield [57], a fim de saber quais eram

os membros e quais as atividades da Sociedade Lunar de Birmingham, levaram-no a conclusões para mim extremamente interessantes, que valem mencionar, rapidamente.

Schofield exhibe uma lista de nomes que mostram que a sociedade reunia uma coleção extraordinária de pessoas, as quais fizeram contribuições significativas para a cultura de sua época, e muitas delas são ainda classificadas entre as mais ilustres da Inglaterra do século dezoito. Pessoas desse calibre, conclui Schofield, não se reuniriam regularmente em torno de trivialidades.

Schofield revela que atividades intensas e variadas eram desenvolvidas, envolvendo a participação, colaboração e interação maciça dos médicos, químicos, geólogos, fabricantes, inventores, metalurgistas, construtores de instrumentos, botânicos, filósofos naturais, engenheiros, etc., que formavam aquela sociedade. Essas atividades tinham em geral tanto orientação empírica quanto teórica, e buscavam tanto contribuir para o conhecimento quanto para a aplicação utilitária. Segundo Schofield, até os fabricantes contribuíam, ou procuravam contribuir, para o desenvolvimento da ciência "pura", mesmo se o grande interesse de alguns deles fosse mesmo a aplicação, e a possível contribuição da pesquisa para a prática. No mínimo, estes fabricantes e manufactureiros estavam sempre prontos para financiar a pesquisa "pura", se houvesse ao menos alguma esperança que ela terminasse permitindo alguma aplicação. Schofield pergunta se não é isso que ocorre com os laboratórios de pesquisa industriais também atualmente.

A orientação industrial da Sociedade Lunar de Birmingham, de acordo com Schofield, sugere que ela deva ser considerada como uma *organização de pesquisa tecnológica informal*. Schofield acredita também que seria difícil encontrar uma única atividade, fosse na ciência ou na tecnologia do século dezoito -- na Inglaterra -- na qual mais de um membro da sociedade não estivesse envolvido, e de preferência tentando extrair do conhecimento algo prático. Para Schofield,

considerações acerca da relação entre ciência e tecnologia no início da revolução tecnológica não podem ignorar as atividades da Sociedade Lunar e de outras menos famosas sociedades científicas provincianas daquela época.

2.10 - Diferenciação e cientificação

Outra tese interessante acerca da história da relação entre ciência e tecnologia é a da chamada "diferenciação-cientificação". Esta tese propõe que ciência e tecnologia eram indiferenciadas no Renascimento, começaram a tornar-se diferenciadas a partir de meados do século dezoito, e voltaram a tender para uma unidade a partir do final do século dezanove. Uma exposição detalhada da tese da diferenciação-cientificação pode ser encontrada em Böhme *et al.* [4].

2.10.1 - Renascimento

Conforme apresentada por Böhme *et al.*, a tese da diferenciação-cientificação observa aproximação existente entre ciência e técnica no Renascimento. Engenheiros, artistas e matemáticos práticos, segundo Böhme *et al.*, foram os principais incentivadores do ideal de se dispor de teorias úteis. Segundo os autores, aquela época conheceu ou promoveu o rompimento de uma tradicional separação entre o natural e o artificial, entre compreender fenômenos (teoria) e construir artefatos (prática), o rompimento da separação entre conhecer as leis da natureza e conhecer as regras de operação, entre explicar a natureza e controlá-la. Leonardo da Vinci foi um dos mais notáveis promotores deste movimento de conexão da ciência com a tecnologia. Depois, filósofos como Bacon e Descartes, bem como as academias de ciência, engrossaram o coro dos que confiavam na utilidade do conhecimento e incentivavam a busca do conhecimento útil. O conceito de natureza deixava de referir-se apenas ao que é objetivamente dado, passando a incluir também o que é

objetivamente possível construir. Conhecer a natureza não significa mais apenas descobrir os fatos, como também construir "arte-fatos". Esta aproximação entre leis da natureza e regras e operações práticas implica no princípio epistemológico de que *conhecer e operar são interdependentes*.

Todavia, de acordo com Böhme et al., este princípio epistemológico da interdependência entre conhecer e operar só começaria a atingir seu potencial máximo na última metade do século XIX, na fase da relação entre ciência e tecnologia denominada de "cientificação". Antes disso, tiveram lugar duas outras fases da história da relação entre ciência e tecnologia, neste processo de diferenciação-cientificação.

2.10.2 - Diferenciação

Na primeira fase, que foi de 1660 a 1750, ciência e tecnologia experimentaram sua *diferenciação institucional e cognitiva*, segundo Böhme et al. Paradoxalmente, concluem eles, a aproximação entre ciência e tecnologia que ocorreu no Renascimento foi posta de lado. Ciência e tecnologia voltaram-se para seus próprios problemas objetivos, conhecer a natureza, num caso, e realizar coisas práticas, no outro. Ao institucionalizar-se, a ciência desinteressou-se pela aplicação, e seus desenvolvimentos passaram a seguir uma lógica ou dinâmica interna. Embora fosse comum que pesquisas científicas se iniciassem a partir da análise de problemas técnicos, o prosseguimento da pesquisa logo era determinado no âmbito interno da ciência, sem preocupações com a aplicação. Devido a este desinteresse da ciência pela prática, a tecnologia, se quisesse proceder sistematicamente, tinha de fazê-lo por conta própria, sem contar com a ciência, e cuidando de seus próprios problemas. Por isso, a tecnologia também institucionalizou-se. Assim foi que ciência e tecnologia diferenciaram-se no plano cognitivo e institucional.

Na segunda fase da diferenciação-cientificação, porém,

que segundo Böhme *et al.* estendeu-se da revolução industrial até a maior parte do século dezanove, apesar de ciência e tecnologia permaneceram diferenciadas, elas também permaneceram orientadas uma em direção à outra. Na ciência, isto se deu através da tecnologia desenvolvida em seu próprio interior. Para compreender a natureza, a ciência passou a depender de instrumentos, que ela então construía, estabelecendo seus próprios padrões e critérios tecnológicos, criando sua própria tecnologia. Além disso, a visão mecanicista do mundo reforçava a aproximação com a tecnologia. O mundo era concebido ou concebível como uma imensa máquina, ou à maneira de um relógio, e as teorias deviam valer tanto para a natureza quanto para os instrumentos. *Conhecer alguma coisa significava saber como ela operava.* Por outro lado, os métodos sistemáticos da tecnologia eram consideravelmente congruentes com os da ciência, sendo valorizados o experimento, a medida e a quantificação, a precisão, o uso da matemática e da geometria. Além disso, a tecnologia não ignorava os fundamentos das ciências naturais, e eventualmente as promoviam ou desenvolviam, dentro de áreas técnicas específicas, voltadas para a aplicação.

Nesta segunda fase da história da relação entre ciência e tecnologia, a orientação que uma mantinha em direção à outra, de acordo com Böhme *et al.*, preparava o terreno para que elas comesçassem a se reaproximar a partir do século dezanove. Até aquele século, a instrumentação desenvolvida na ciência, a fim de atender às necessidades internas de pesquisa, podia servir também à tecnologia em geral. A tecnologia especial da ciência, desenvolvida em acordo com os padrões e necessidades da ciência, começou a ser utilizada também na tecnologia no século dezanove, quando as condições econômicas e sociais começaram a favorecer esta transferência de tecnologia científica para a tecnologia em geral. Nesta época então, os instrumentos e procedimentos científicos passaram a se estender a fins outros, além da pesquisa científica. Por outro lado, a tecnologia desde a revolução industrial esteve crescentemente envolvida com problemas com os quais seria muito difícil lidar

satisfatoriamente sem o recurso à ciência. A participação da ciência era necessária no estudo de novos materiais, no incremento de eficiência, no aumento de escalas -- de temperatura, de pressão, de dimensões, etc. -- na busca de maior precisão, enfim, sempre que problemas novos e desafiadores ofereciam pouca perspectiva para uma abordagem apenas empírica, com melhoramentos feitos lentamente passo a passo em vez de uma abordagem científica e teórica que podia levar a progressos bruscos e contundentes.

2.10.3 - Cientificação

Mas, conforme Böhme *et al.*, é só a partir do final do século dezenove que a orientação da ciência e da tecnologia uma em direção à outra desemboca numa reaproximação sistemática entre elas. Ciência e tecnologia voltam-se conjunta e cooperativamente para os mesmos problemas, e barreiras e distinções institucionais são derrubadas. Esta é a fase chamada de "cientificação" da tecnologia. A ligação entre ciência e tecnologia vai além da afinidade metodológica ou congruência epistemológica representada pelo *conhecimento operativo*. Mais do que isso, ciência e tecnologia tendem para a unificação ao nível da teoria. Para os defensores do modelo da diferenciação-cientificação, isto significa que a tecnologia passa a tornar-se teórica, como a ciência. É isto que eles chamam de "cientificação" da tecnologia.

Para Böhme *et al.*, esta cientificação ocorre de duas maneiras complementares. De um lado, as teorias científicas podem atingir um estágio de desenvolvimento que permita a derivação de teorias tecnológicas especiais; neste caso, as teorias desenvolvidas na ciência, em seu estágio maduro, podem ser usadas em objetos tecnológicos particulares, através do desenvolvimento de modelos especiais para fenômenos técnicos reais e complexos. De outro lado, é possível perseguir objetivos tecnológicos por meio da construção ou desenvolvimento de teorias. Deste modo, é

possível chegar primeiro a teorias especiais, válidas apenas para objetos técnicos particulares, que mais tarde podem ser substituídas por teorias especiais integradas aos quadros teóricos existentes na ciência. Através destes dois movimentos complementares, tende-se a uma integração da ciência e da tecnologia ao nível da teoria, à interconexão de fenómeno técnico com *teoria fundamental*.

Böhme et al. exemplificam o movimento da tecnologia em direção à ciência através da história da engenharia química, que no final do século dezoito ainda baseava-se sobretudo na experiência, no ensaio-e-erro e recursos deste tipo, mantendo somados a uma relação irregular com a química e com os químicos. Mas a engenharia química foi pouco a pouco tornando-se mais científica, até conseguir constituir-se numa disciplina própria, com seus próprios métodos, conceitos e soluções, e com suas próprias *teorias fenomenológicas*. O passo final foi então a integração da engenharia química ao quadro das teorias da química e da física. Quando esta integração com a química e física foi alcançada, tornou-se possível derivar resultados e modelos particulares a partir das teorias fundamentais da química e física, minimizando a necessidade de recorrer-se a procedimentos empíricos ou experimentos baseados no ensaio e erro.

Para exemplificar o movimento das teorias fundamentais da ciência para os modelos referentes aos objetos particulares e complexos da tecnologia, Böhme et al. citam o caso da mecânica dos fluidos. Em vez de resultarem da sistematização da tecnologia, como no caso da engenharia química, a obtenção de teorias tecnológicas -- isto é, válida para os objetos concretos da técnica -- no campo dos efeitos mecânicos dos fluidos foi resultado de esforços teóricos, que tornaram uma teoria acerca de objetos idealizados numa teoria capaz de fornecer modelos especiais para fenómenos acerca da lubrificação, do aerofólio, da hélice.

Existe também a possibilidade, observam Böhme et al., de a tecnologia, utilizando matemática e lógica, desenvolver

teorias formais para a compreensão e o controle de sistemas técnicos, teorias que depois poderão se aplicar também a fenômenos (mais) naturais. Os exemplos que eles fornecem são os da teoria da informação e da teoria dos sistemas, desenvolvidos na tecnologia. A teoria da informação mostrou-se aplicável também na bioquímica, fisiologia, neurofisiologia, ecologia, etc.

É esta possibilidade de buscar a solução de problemas técnicos, seja através do desenvolvimento de teorias especiais, tentando integrá-las às teorias fundamentais da ciência, seja derivando destas últimas teorias especiais de interesse técnico, que permitiu a unificação da ciência à tecnologia, de acordo com Böhme *et al.*, e é isto que eles chamam de "cientificação" da tecnologia.

2.10.4 - Implicações sociológicas

Weingart [66] também defende a tese da diferenciação-cientificação. No entanto, sua preocupação está mais voltada para os aspectos sociológicos. Ele observa que a sociologia da ciência, por estar interessada justamente na importância e relação entre os fatores "internos" e "externos" do desenvolvimento do conhecimento científico, não poderia deixar de levar em conta as relações entre ciência e tecnologia -- obviamente porque esta última está mais diretamente ligada a fatores "externos". Todavia, para isto seria necessário uma melhor compreensão das conexões epistemológicas -- além das sociológicas -- entre ciência e tecnologia. E é justamente isto o que falta para a sociologia da ciência, conclui Weingart. A relevância das relações epistemológicas entre ciência e tecnologia não se restringe à sociologia. Também a economia e história econômica precisam lidar com este problema, ao estudar os fatores que determinam o crescimento econômico.

Weingart procura explicar e justificar sociologicamente o processo de diferenciação-cientificação. Ele acredita que cada setor da cultura possui seus valores, algo como os paradigmas de

Kuhn. Durante a revolução científica, ciência e tecnologia não formavam sistemas sociais institucionalizados separados. A diferenciação entre elas ocorreu quando a primeira institucionalizou-se, ou seja, quando a ciência sedimentou paradigma para sua produção de conhecimentos. A ciência alcançou sua autonomia cognitiva. Paralelamente, a tecnologia foi levada a institucionalizar-se, também. Mais recentemente, ciência e tecnologia "reaproximaram-se, mas desta vez com a ciência encarregada de gerar novas tecnologias ("science-based technologies"), através da aplicação do método científico a problemas técnicos. Trata-se da "cientificação" da tecnologia.

Para resolver o aparente paradoxo da diferenciação entre ciência e tecnologia, apesar de a revolução científica ter pretendido mantê-las ligadas, Weingart recorre à idéia de que a institucionalização da ciência corresponde ao assentamento, padronização, difusão de seus modos de produção de conhecimento. Estes paradigmas do conhecimento e do método científico têm como representante típico a valorização da verdade, o critério da verdade definido em geral por estes paradigmas. Neste caso, a "cientificação" corresponde à fase da relação entre ciência e tecnologia na qual esta última passou cada vez mais a se submeter aos valores da ciência. Devido ao sucesso crescente da ciência, particularmente a partir de sua institucionalização, Weingart acredita que não só a tecnologia, como também vários outros setores da sociedade ou da cultura, tendem a adotar o "critério da verdade" como o meio mais eficaz de cumprir ou alcançar seus objetivos, requisitando assim a participação da ciência. Em troca, a tecnologia consegue ao menos influenciar o desenvolvimento da ciência, no sentido de indicar direções para as quais seria desejável que este desenvolvimento ocorresse, a fim de favorecer a aplicação tecnológica.

2.10.5 - Observações

A tese da diferenciação-cientificação tem a meu ver o

grande mérito de estabelecer uma considerável simetria na interação entre ciência e tecnologia nas proximidades da revolução científica. No entanto, o artigo de Weingart parece tornar claro que aquela tese reestabelece uma certa assimetria nas fases seguintes.

O trabalho de Böhme et al. parece-me bem mais sofisticado e menos simplista neste ponto. No entanto, Böhme et al. não desautorizam a interpretação de Weingart, pelo contrário, até a favorecem, quando afirmam que a ciência se diferenciou da tecnologia não apenas no plano institucional, que me parece mais justificável, mas também no plano cognitivo. Böhme et al. dizem também que, na última fase da relação entre ciência e tecnologia, a segunda torna-se teórica. Note-se que esta fase é denominada de "cientificação" da tecnologia, e que Böhme et al. nunca falam, por exemplo, em "tecnologização da ciência". Eles percebem com muita perspicácia o papel e importância da teoria na tecnologia moderna. Eles identificam o que chamam apropriadamente de "perseguição teórica de objetivos técnicos", e são extremamente felizes, em minha opinião, ao identificarem dois aspectos complementares desta perseguição: a elaboração, dentro de uma disciplina tecnológica, de teorias especiais (ou fenomenológicas) acerca de fenômenos particulares de interesse tecnológico, com a tendência de posteriormente integrar estas disciplinas na ciência; e a derivação de teorias (e modelos) especiais a partir de teorias mais fundamentais já desenvolvidas pela ciência.

No entanto, Böhme et al. não fazem nenhuma consideração acerca do papel da experimentação e manipulação, quer na ciência, quer na tecnologia. Penso que seria importante considerar o papel da experimentação e dos procedimentos empíricos, porque acredito que estes aspectos estão relacionados com a elaboração das leis fenomenológicas que Böhme et al. mencionam. Para eles, as leis fenomenológicas pertencem ao quadro cognitivo próprio da tecnologia, junto dos métodos, conceitos e soluções pertencentes às disciplinas tecnológicas, cognitivamente diferenciadas da ciência. Implicitamente, aqueles autores parecem sugerir que

somente as leis fundamentais constituem o verdadeiro corpo teórico da ciência. Tanto é assim que, segundo Böhme et al., a engenharia química só se *cientificou* realmente quando seus métodos, procedimentos, soluções e leis fenomenológicas se integraram às teorias da física e da química -- isto é, presumivelmente, às suas leis fundamentais. No entanto, não vejo razão alguma para que as leis fenomenológicas não sejam consideradas como parte integrante do conhecimento científico. Não deixa de ser algo surpreendente que Böhme et al. tenham postulado o princípio epistemológico da interdependência entre conhecer e operar, para depois nada dizerem acerca da experimentação, da observação, dos procedimentos empíricos, concentrando-se em vez disso, aparentemente, apenas nas virtudes da teoria. Para eles, ciência e tecnologia estão hoje unificadas ao nível da teoria, e é isto que eles enfatizam -- sem nada mais dizerem acerca do nível experimental e empírico. Eles parecem dizer que a ciência abrangeu a tecnologia, em vez de interagir com ela. (No capítulo VI abordo estas questões.)

Estas críticas, porém, não impedem que eu considere a análise que Böhme et al. fazem do papel e importância da teoria na ou para a tecnologia correta e muito feliz. Eles percebem que a ciência e suas teorias podem ser desenvolvidas tendo em vista resultados eminentemente práticos, e que frequentemente são desenvolvidas com esta intenção explícita. Böhme et al. abordam de modo muito claro e preciso a maneira pela qual a ciência desenvolve teorias científicas para o uso na tecnologia, ou como a tecnologia desenvolve teorias científicas a fim de resolver seus problemas (práticos).

III - ALGUNS EXEMPLOS

O debate acerca da história das relações entre ciência e tecnologia permanece sem solução. Os contendores não conseguem chegar a um consenso. Casos históricos estudados para dar apoio a uma ou outra tese não chegam porém a resultados conclusivos e livres de ambigüidade. Penso que uma das razões para isto seja a adoção de esquemas conceituais simplistas acerca da relação entre ciência e tecnologia. O resultado são as tentativas apressadas de confirmar algum ponto de vista, e a impossibilidade do consenso. Falta uma melhor compreensão a respeito do que é realmente ciência ou tecnologia, ou que tipo de conhecimentos podem ser atribuídos a uma ou à outra. Sem uma análise destes aspectos preliminares seria mesmo surpreendente que se chegasse a resultados conclusivos e livres de ambigüidade. A história não pode aqui descuidar da filosofia.

3.1 - Debates inconclusivos

Keller [30] interrogou como foi, ao longo da história, a confiança depositada na ciência como a responsável pelo progresso da tecnologia. Segundo Keller, esta confiança pode ser notada desde Bacon, e principalmente desde a fundação da Sociedade Real. Esperava-se que o conhecimento e as teorias conduzissem da forma mais segura a resultados práticos de interesse da humanidade. Esta crença no valor prático da teoria estendia-se também à matemática. Todavia, Keller chama a atenção para o fato de que os historiadores ainda não chegaram a um consenso sobre qual a importância destas motivações utilitárias no progresso da ciência. Os que negam esta importância tendem a considerar como únicas contribuições da tecnologia para a ciência o fornecimento de anomalias, dados brutos curiosos, e de problemas para serem resolvidos. Os que assim pensam também

tendem a ver cientistas como Galileu, Kepler, Huyghens e Newton como completamente desinteressados no avanço da tecnologia. E Cientistas que não se encaixam bem neste modelo, como Boyle, Hooke, Papin, tendem a não ser levados muito a sério.

De minha parte, se é verdade que historiadores acreditam que Galileu ou Huyghens não se interessavam pela tecnologia, ou que Boyle, Hooke ou Papin, por se interessarem por tecnologia, não se dedicaram seriamente à ciência, então penso que são estes historiadores que não podem ser levados muito a sério.

Keller ocupa-se da influência da ciência sobre a tecnologia no século dezoito, referindo-se a vários casos. Ele conclui que permanece ambíguo o alcance da influência de conceitos de química teórica na tecnologia química naquele século. No entanto, é certo que conceitos da química teórica serviram ao menos para avaliar processos já existentes -- o que também é, para mim, um exemplo inequívoco de aplicação de ciência na tecnologia.

Mas Keller pergunta ainda se existe alguma conexão entre ciência e tecnologia quando tecnologistas simplesmente correspondem-se com cientistas, ou quando tecnologistas realizam experimentos, especialmente se não há nenhum interesse comercial claro. Keller pergunta se a pesquisa é impelida por curiosidade científica, ou se a pesquisa industrial diz respeito à tecnologia de processos industriais. Pergunta como os *Principia* de Newton poderiam ser aplicados às máquinas.

Para mim, este tipo de questões reflete as dificuldades em que os historiadores se encontram, com respeito à relação entre ciência e tecnologia. E uma parte considerável desta confusão é de natureza filosófica. Keller observa também que as discussões e os argumentos dos historiadores são mais verbais do que sobre fatos.

Keller faz ainda referência ao fato de cientistas e tecnologistas serem frequentemente treinados juntos nos laboratórios.

As conclusões finais de Keller não vão muito além do senso comum. Ele conclui que a ciência não é suficiente para se fazer e desenvolver tecnologia, nem é a fonte original da tecnologia, usualmente. No entanto, sem um conhecimento e compreensão de fatos científicos, muita tecnologia seria impensável. Keller enfatiza também o fato de que tecnologistas defenderam veementemente a necessidade de teorias consistentes em pesquisas tecnológicas, e observa que muitos trabalhos podem ser considerados tanto científicos quanto tecnológicos.

3.2 - Um pressuposto adequado

Kerker [31], a meu ver, aponta a direção correta. Ao discutir a relação entre ciência e tecnologia no século dezessete, Kerker observa que não se deve esperar que, naquele século, um processo ou uma máquina pudesse ser um produto obtido e fornecido inteiramente pelo cientista em seu laboratório, mesmo nos casos em que a interação entre ciência e tecnologia fosse mais forte. Embora a ciência não deixasse de estar voltada para a prática, e os cientistas estivessem bastante preocupados com o desenvolvimento tecnológico e a utilidade da ciência, não seria razoável esperar -- como fazem alguns historiadores -- que a ciência fornecesse sozinha um produto completamente acabado.

Como observa Kerker, para a invenção e a inovação tecnológicas concorrem atos que vão desde a *habilidade manipulativa* até, no outro extremo, os atos baseados sobre os conhecimentos ou teorias científicos. No exemplo examinado por Kerker, o do desenvolvimento do engenho a vapor, houve uma infinidade de passos ao longo de dois séculos, e a inventividade nestes passos ocorreu em vários níveis. Sem a participação da ciência em alguns destes passos a história do engenho a vapor certamente não seria a mesma, e provavelmente nem mesmo existiria. E isto não significa que muitos passos, provavelmente a maior parte deles, não tenham sido dados sem a participação da ciência. Desenvolvimentos como o do engenho a vapor são muito

complexos, e subdivididos em uma infinidade de passos. Muitos deles contaram com a ciência, outros não -- exceto pelo fato de a ciência ter participado de passos anteriores.

A imagem adequada aqui, acredito, é a das reações em cadeia (capítulo II), onde cada passo abre espaço para muitos outros que poderão nele apoiar-se. Esta cooperação e a progressão em cadeia pode ser exemplificada mais uma vez. Observe-se a contribuição marcante de Sadi Carnot na história da ciência. Carnot fez uma das contribuições fundamentais para história da ciência a partir de considerações sobre a eficiência do engenho a vapor. Carnot só realizou seu trabalho depois de o desenvolvimento do engenho a vapor estar já bastante avançado, e foi neste desenvolvimento prévio da tecnologia do vapor que Carnot baseou seu trabalho. Por isso costuma-se dizer que a ciência deve mais ao engenho a vapor do que este à ciência. E se este desenvolvimento da máquina a vapor veio antes da teoria, então este desenvolvimento deve ter sido basicamente empírico. Mas isto não significa que a ciência não tenha participado em nenhuma etapa, pois, conforme observa Kerker, um desenvolvimento da complexidade do engenho a vapor só pode ser alcançado através de uma infinidade de passos ou etapas, várias das quais obtidas através do uso de conhecimentos científicos -- já existentes ou obtidos especificamente para a aplicação em questão.

A suposição de que o engenho a vapor (quase) nada deve à ciência reflete uma expectativa equivocada acerca de como a ciência é utilizada na tecnologia. Reflete a idéia de que só quando um avanço tecnológico é totalmente derivado da ciência é que se pode falar autenticamente em aplicação da ciência na tecnologia. Porém, como afirma Kerker, *se fosse assim, raramente seria possível dizer que a ciência é aplicada na tecnologia*. Como muito bem nota Kerker, *mesmo hoje são muito raros os casos em que um avanço ou uma aplicação tecnológicos estão baseados somente em conhecimentos derivados de teorias científicas*. A ciência fornece conceitos, teorias, dados, etc., mas raramente isto é suficiente para uma realização concreta na tecnologia. O recurso a

conhecimentos científicos já existentes é frequentemente necessário, na tecnologia, mas raramente suficiente.

Giambattista della Porta (1606) foi o primeiro a demonstrar que o vapor podia ser usado para mover a água, quer pressionando-a, quer puxando-a através da formação de vácuo devido à condensação de vapor. Galileu (1641) ocupou-se com a bomba de vácuo, e seus sucessores desenvolveram a pneumática e levaram à construção de instrumentos de bombeamento de líquidos e gases. Von Guericke mostrou como obter trabalho através do movimento de um pistom em um cilindro no qual é feito vácuo. Huyghens e Papin (1678) trabalharam em um engenho com pistom movido pela explosão de pólvora. Denis Papin (1690) abandonou depois a pólvora em favor do vácuo formado pela condensação de vapor. O engenho atmosférico de Newcomen (1712) estava baseado, portanto, no conhecimento da pressão atmosférica, e no reconhecimento de que o vapor de água possui as mesmas propriedades que o ar, perdendo-as, porém, quando condensadas, dando origem a um vácuo, o qual tenderia a ser desfeito pela pressão atmosférica.

As contribuições de Watt (a partir de 1763) para o engenho a vapor, por sua vez, estavam apoiadas na teoria do calor latente do vapor de Joseph Black. Porém, assegura Kerker, a invenção do condensador separado de Watt não decorreu somente da utilização desta teoria. Watt realizou ele próprio experimentos quando necessário, determinando a relação entre pressão e temperatura de ebulição, e as relações entre pressão e volume para o vapor. Segundo Kerker, somente por estas descobertas Watt teria deixado sua passagem marcada na história da ciência.

Kerker afirma porém que o desenvolvimento do engenho a vapor não deveu-se apenas à ciência. Havia inúmeros problemas -- como mecânicos, ou com os materiais -- que precisavam ser resolvidos, e que não podiam sê-lo através da ciência. Kerker observa que incontáveis progressos foram feitos apenas por meios empíricos, mensurações sistemáticas, melhoramentos práticos. Assim, por exemplo, Watt baseou seu trabalho também nos inúmeros

melhoramentos que seus antecessores fizeram, de maneira geral, sem o uso de teorias científicas -- como aperfeiçoamentos no projeto e execução das várias partes do engenho de Newcomen.

3.3 - Influência recíproca

A questão acerca do que vem primeiro, a ciência ou a tecnologia, a teoria ou a técnica (ou a prática), é como a do ovo e da galinha. Uma prática pode às vezes preceder a teoria; outras vezes uma tecnologia pode ser precedida por descobertas motivadas pela curiosidade desinteressada (da ciência); ou então uma teoria e uma prática divorciadas por muito tempo podem num certo momento alcançar um proveitoso encontro. É possível que tecnologia e ciência desenvolvam-se em alguns casos simultaneamente. Enfim, as relações entre ciência e tecnologia seguem diversos padrões, não sendo possível reduzi-las a um modelo único e completo.

3.4 - Rodas d'água

Reynolds [55] discute a descoberta da superioridade da roda d'água de gravidade -- acionada pelo peso da água -- sobre a roda d'água de impacto -- acionada pelo impulso da corrente d'água sobre as lâminas da roda. A superioridade do desempenho da roda d'água de gravidade sobre a de impacto foi descoberta simultânea e independentemente por de Parcieux, Smeaton e Johann Euler (filho de Leonhard Euler), de 1752 a 1754. Os dois primeiros chegaram a suas conclusões com a ajuda de experimentos, especialmente Smeaton, enquanto Euler, recorreu apenas a conhecimentos teóricos. Deixemos de lado aqui o trabalho de de Parcieux, o qual, embora similar ao de Smeaton, não é tão radicalmente empirista, nem tão preciso e sofisticado experimentalmente. Experimentos como estes valeram a John Smeaton a fama de pioneiro na utilização sistemática do método da variação de parâmetros na engenharia.

Em 1704, Parent publicou sua teoria acerca da potência

útil máxima de uma roda d'água de impacto. Segundo Cardwell [11], o ponto de partida de Parent era o princípio, estabelecido por Galileu, de que para manter um movimento uniforme não é preciso mais esforço do que é necessário para contrabalançar o esforço resistente. Galileu pode perceber a falácia da velha crença de que a força requerida para o movimento devia ser muito maior do que a necessária para o equilíbrio (em repouso). Com isso Galileu pôde estabelecer que, em uma máquina qualquer, o produto do esforço (F) aplicado (sobre a máquina) por um agente pela velocidade (V) (deste agente) é igual ao produto do esforço resistente (F_r) correspondente ao efeito (produzido pela máquina) pela velocidade (V_e) (deste efeito) ($VF = F_r V_e$). Segundo Cardwell, esta foi a origem do conceito físico de trabalho.

Ainda segundo Cardwell, foi seguindo os passos de Galileu que, a respeito da roda d'água de impacto, Parent definiu como "efeito natural" de uma corrente d'água o produto do esforço resistente (F_{ri}) necessário para manter imóvel a roda pela velocidade (V) da corrente d'água (FV). O que Parent queria saber é que parte deste "efeito natural" poderia ser realmente aproveitado por uma roda d'água de impacto. Com o princípio de Galileu em mente, Parent raciocinou que, quando a roda está imóvel, o esforço que a água transmite à roda é máximo ($F_{ri} = F$); mas, como neste caso a velocidade da roda (V_{ei}) é nula, o "efeito geral" ($F_r V_e$), no caso, é nulo ($F_{ri} V_{ei} = 0$). A roda também produzirá um "efeito geral" nulo no caso ideal dela girar na mesma velocidade que a água, pois aí também não absorverá nenhum esforço da corrente. Correlacionando o "efeito geral" com a velocidade da corrente d'água e à velocidade da roda, Parent calculou a parcela máxima do "efeito natural" ($F_{ri} V$) que a roda d'água de impacto poderia, teoricamente, utilizar: quatro vinte e sete avos ($4/27 F_{ri} V$). Parent pensava que este resultado valia não só para a roda de impacto, mas para qualquer tipo de roda d'água.

Pelo lado da prática, em meados do século dezoito havia um crescente interesse e necessidade de comparar o desempenho de

rodas d'água. Desconfiando que a teoria de Parent não fosse correta, Smeaton propôs-se a realização de experimentos, a fim de determinar a eficiência das rodas d'água. Em seus experimentos, Smeaton variava sistematicamente um paâmetro, mantendo constantes todas os outros -- método da variação de parâmetros. As suspeitas de Smeaton, baseadas em seu conhecimento empírico das rodas d'água, estavam corretas. A eficiência máxima das rodas de impacto era de aproximadamente $3/10$ FV, ou seja, cerca de duas vezes o valor previsto pela teoria de Parent. Mas o que surpreendeu Smeaton foi a eficiência muito superior das rodas de gravidade. Seus experimentos indicaram que, operando em certas condições, a eficiência da roda d'água de gravidade tendia ao limite de cem por cento.

Para Reynolds, Smeaton -- bem como de Parcieux -- utilizou basicamente apenas métodos tradicionais da tecnologia, que para Reynolds são: a intuição mecânica, as analogias físicas, a experimentação -- especialmente a experimentação com modelos. Para ele, a ciência, no trabalho de Smeaton, teve apenas alguma influência *secundária e indireta*, na forma do estímulo de uma teoria errônea (a de Parent), de alguns fragmentos de conhecimento (a baixa eficiência da roda d'água de impacto), de alguns conceitos quantitativos e de métodos quantitativos de experimentação. Não obstante, o que é curioso, Reynolds reconhece o papel da ciência neste caso como *não muito* pequeno. Reynolds afirma também que a influência da ciência, embora importante, não significa que Smeaton tenha "aplicado princípios científicos". A investigação de Smeaton, para Reynolds, não emerge de qualquer sistema de conhecimento conceitual ou teórico, pois utiliza apenas métodos tecnológicos tradicionais.

É certo que Reynolds reconhece que a influência da ciência no trabalho de Smeaton foi importante e não pequena. Mas então proque Reynolds insiste em qualificar esta influência como indireta e secundária? Ele não pode deixar de reconhecer que Smeaton utiliza conceitos quantitativos, como o de eficiência, ou que Smeaton compara os valores de eficiência obtida

experimentalmente com o valor previsto pela teoria de Parent. O próprio Reynolds observa que Smeaton tinha explicitamente a intenção de testar a teoria de Parent. O mesmo Reynolds nos conta que Smeaton, para medir o efeito produzido, utilizava o conceito do produto do esforço resistente (Fr) (correspondente ao efeito) pela velocidade (Ve) (do efeito). Ora, tudo isso implica que Smeaton compreendia e aplicava o princípio de Galileu, do qual falei quatro parágrafos acima. Nada disto é surpreendente, já que Smeaton era membro da "Royal Society" em Londres, e fez contribuições para ciência -- da mesma maneira que de Parcieux. Portanto, para afirmar que Smeaton não aplicava princípios científicos em sua investigação, como faz Reynolds, seria necessário, por exemplo, não considerar científico o referido princípio de Galileu, o que seria absurdo. Por outro lado, parece estranho considerar a experimentação um método tradicional da tecnologia, não-científico, e a experimentação quantitativa um método científico. Além disso, a intuição mecânica, as analogias físicas e a experimentação com modelos também são empregadas na ciência.

Reynolds compara o trabalho de Smeaton com o de Euler. Este último chegou às mesmas conclusões a respeito da roda d'água de gravidade, postulando uma eficiência máxima de cem por cento, além de corrigir o erro teórico cometido por Parent, calculando como $8/27$ FV a eficiência máxima da roda de impacto.¹ Para Reynolds, Euler propôs avanços técnicos por meio da *aplicação direta* de análise matemática e teoria científica a problemas técnicos. O que Euler fez foi, a partir apenas de considerações teóricas, deduzir e calcular a eficiência máxima tanto da roda d'água de impacto quanto da de gravidade. Mas Euler advogava mesmo era a utilização de um outro tipo de roda d'água de gravidade, que descrevia um movimento de rotação horizontal: a roda de reação -- movida pela força de reação da água sobre a

¹ Bernoulli foi o primeiro a corrigir este erro (Cardwell [11]).

roda, ao sair por um orifício. O pai de Euler (Leonhard Euler) já havia concluído que a eficiência da roda de reação se aproximaria de cem por cento, em condições ideais.

Reynolds observa que o trabalho dos Euler (pai e filho) com rodas d'água significou uma tentativa de aplicar a ciência diretamente à tecnologia. No entanto, a repercursão de seus trabalhos com rodas d'água na tecnologia foi muito pequena, em contraste com a grande influência dos trabalhos de Smeaton (e de Parcieux) sobre a tecnologia e os tecnologistas. E, é claro, Reynolds enfatiza que Smeaton só foi influenciado indireta e secundariamente pela ciência. Ele acredita que este caso é representativo de como era o impacto da ciência sobre a tecnologia no século dezoito. Embora Euler tenha chegado às mesmas conclusões sobre a eficiência das rodas de impacto e de gravidade, só o trabalho de Smeaton (e de Parcieux) teve influência sobre os tecnologistas. As sugestões e projetos dos Euler sobre a roda d'água de reação também não teve nenhuma recepção na tecnologia. Reynolds conclui que se os Euler nunca tivessem se preocupado com rodas d'água, o curso do desenvolvimento tecnológico teria permanecido inalterado. Reynolds acredita que este caso favorece a interpretação de Hall (ver capítulo II) acerca do desenvolvimento independente da ciência e da tecnologia até o final do século dezanove -- quando o impacto da primeira sobre a segunda passaria a ser significativo.

Agora é possível entender melhor o que Reynolds quer dizer com influência direta da ciência sobre a tecnologia, ou com influência indireta e secundária. Smeaton utilizou algumas idéias, métodos, conceitos científicos, mas suas conclusões finais só foram obtidas graças a seus resultados experimentais, que portanto desempenharam um papel fundamental em seu trabalho. Os Euler, ao contrário, chegaram a seus resultados derivando-os da teoria, por meio de cálculo dedutivo. Portanto, parece que Reynolds considera que uma influência direta da ciência sobre a tecnologia só ocorre quando um problema tecnológico é

inteiramente resolvido por meio de cálculos e deduções derivados de teorias científicas.

Reynolds exagera, porém, quando afirma que Smeaton não aplicou princípios científicos, conforme procurei mostrar. Smeaton aplica ou utiliza princípios, conceitos, idéias científicas em seu trabalho, conforme o próprio Reynolds admite. Porém, estes princípios, conceitos, etc., não são suficientes para que Smeaton chegue, apenas por meio deles, a uma conclusão final. O resto do trabalho tem então de ser efetuado pelos experimentos. Mas tanto Smeaton quanto os Euler utilizam a ciência, embora Smeaton tenha de recorrer também a procedimentos experimentais. Os Euler podem dispensar, neste caso, os procedimentos experimentais, graças a sua sofisticação teórica e habilidade matemática. Isto porém não autoriza a classificar o trabalho de Smeaton como não-científico, ou apenas como indireta e secundariamente científico. Smeaton, é certo, confiava mais em experimentos que em teorias, mas também é certo que experimentos sistemáticos como os de Smeaton são parte integrante da ciência moderna. Neste sentido, Smeaton estava não apenas utilizando a ciência, mas também fazendo ciência -- tanto que ele pretendia com seus experimentos, entre outras coisas, testar a teoria de Parent.

Reynolds talvez queira dizer também que Smeaton não utilizou as teorias até suas últimas conseqüências. Em vez disso, Smeaton teria ficado restrito à aplicação de fragmentos de teorias científicas, ou algo assim, ao contrário dos Euler, que empregavam as teorias integralmente. No entanto, penso que não importa se apenas fragmentos são utilizados. O que conta é saber qual a importância destes fragmentos, que no caso de Smeaton não me parece indireta e secundária. Da mesma forma, não faria muito sentido dizer que as teorias utilizadas são velhas, muito antigas, ou que a aplicação não é original ou que já foi feita muitas vezes antes em outros contextos.

É preciso observar também que mesmo hoje a aplicação de teorias científicas a problemas tecnológicos não é suficiente, em

geral, tornando necessário recorrer também a outros meios, além da teoria -- como a realização de experimentos -- a fim de ajudar a resolver um problema tecnológico. Por exemplo, o próprio resultado teórico que Bernoulli e os Euler encontraram para a eficiência teórica da roda d'água de impacto, 8/27 Friv, é satisfatório, mas não é inteiramente correto, pois incorre em algumas simplificações (Cardwell [11]).

Outro ponto a observar, abordado pelo próprio Reynolds, refere-se à exequibilidade da roda d'água de reação. Os Euler defendiam a superioridade deste tipo de roda d'água, projetaram rodas deste tipo. Porém, jamais executaram quaisquer destes projetos. Reynolds observa que, naquela época, não teria sido possível construir uma roda daquele tipo com bons resultados. Rodas de reação exigiam a utilização de metal em vez de madeira, mas naquela época não se dispunham de metais adequados para aquele fim. Os Euler eram cientistas, e não tinham o mesmo senso e conhecimento práticos de tecnologistas como Smeaton. Rodas de gravidade eram conhecidas, sabia-se construí-las. Mas ninguém sabia como construir eficientemente uma roda de reação como as propostas pelos Euler, incluindo os próprios Euler.

Finalmente, a respeito da afirmação de Reynolds de que o desenvolvimento da tecnologia teria ficado inalterado se os Euler nunca tivessem se preocupado com rodas d'água, tenho duas observações a fazer. A primeira é a de que o tratamento teórico de Leonhard Euler sobre a roda de reação foi considerada na tecnologia das turbinas hidráulicas, menos de um século depois, embora esta abordagem só tenha sido reconhecida mesmo em nosso século, porém estendida e acompanhada de outros dados.² A segunda observação é de que descobertas na ciência também podem permanecer esquecidas ou desconhecidas, e talvez serem até redescobertas independentemente mais tarde. Portanto, o fato de o trabalho dos Euler não ter influenciado significativamente a tecnologia de sua época pode não ser muito representativo das

² Layton [42].

relações entre ciência e tecnologia naquele tempo.

Por outro lado, parece oportuno interrogar se, sem a utilização de conhecimentos científicos, a tecnologia das rodas d'água teria avançado da mesma maneira que o fez. Se minha opinião está correta, embora os conhecimentos científicos da época de Smeaton não tenham sido utilizados para que ele deduzisse o resultado procurado, parece-me também que, sem a utilização de algum conhecimento científico, Smeaton não poderia ter realizado seus experimentos e chegado às suas conclusões.

Como conclusão final, penso que talvez fosse razoável dizer que Smeaton utilizou-se pouco da ciência, neste caso, com maior parte de seu trabalho sendo experimental. Acho razoável falar-se em pouco uso de teorias científicas, ou muito uso, e assim por diante. O que não me parece muito razoável é classificar a aplicação da ciência em direta, de um lado, e indireta e secundária, de outro. Não parece que este tipo de classificação contribua muito para a compreensão das relações entre ciência e tecnologia, nem parece que Reynolds tenha fornecido significados adequados ou suficientemente claros para os termos desta classificação, ou seja, para o que vem a ser 'aplicação direta' ou 'aplicação indireta e secundária'.

No entanto, é claro que, no século dezoito, deve ter havido desenvolvimentos na tecnologia que não utilizaram conhecimentos científicos. Deve haver casos de pouco, muito ou nenhum uso da ciência. Dizer que nos experimentos de Smeaton com rodas d'água houve alguma aplicação de conhecimentos científicos não significa dizer que o mesmo ocorreu com todos os desenvolvimentos tecnológicos daquele tempo, e nem mesmo com a maioria deles. Quanto à questão de como foi realmente a relação entre ciência e tecnologia no século dezoito, ela só pode ser respondida decisivamente se forem encontradas provas históricas conclusivas. Esta é portanto uma pendência histórica, a qual não estou em condições de julgar aqui. No entanto, a opinião que defendi é a que me parece mais mais plausível.

Vale enfatizar ainda que, quando penso na relação entre

ciência e tecnologia, não penso apenas no uso e contribuição da ciência na tecnologia, como também no uso e contribuição da tecnologia na ciência.

3.5 - Tartaglia

Keller [29] conta que Niccoló Tartaglia, em meados do século dezesseis, utilizou a hidrostática de Arquimedes em operações de resgate de embarcações naufragadas, junto com suas cargas. De acordo com Keller, este foi um dos primeiros casos registrados em que uma teoria físico-matemática foi conscientemente aplicada no uso inovador de uma prática tecnológica. Além das fontes teóricas, Keller acredita que o método de Tartaglia devia estar baseado também em certas práticas antigas.

Tartaglia foi tradutor de Arquimedes. Segundo Keller, ele costumava considerar que a aplicação de teoria e de matemática era uma resposta a crises, fornecendo o meio para superar impasses que métodos práticos tradicionais e puro empirismo não podiam superar. Keller suspeita, porém, que Tartaglia provavelmente considerava as consequências práticas que podiam resultar de alguma abordagem teórica, e só depois procurava uma oportunidade de realizar as aplicações efetivamente.

Keller aponta também as pesquisas e experimentos realizados por Tartaglia. Por exemplo, Tartaglia determinou a densidade relativa de vários corpos mais pesados que a água em relação a outros mais leves que ela. Isto permitia a Tartaglia calcular a relação entre o volume de um navio e o volume de diferentes materias que deveriam ser resgatados, pretendesse resgatar, como tijolos, mármore, ferro, cobre, ouro, prata, chumbo. Foi esta combinação de teoria com experimentos que preparou Tartaglia para a aplicação na operação de resgate de navios.

3.6 - Produção de salitre

Outro exemplo de aplicação da ciência na tecnologia no século dezoito é apontado por Multhauf [48]. O Estado francês estava interessado em incrementar a produção de salitre, e a Academia Real de Ciências de Paris esteve envolvida no esforço de alcançar este incremento. Os cientistas estiveram bastante envolvidos neste esforço (de 1776 a 1794) voltado para a produção de salitre na França, sendo Lavoisier o grande destaque.

A produção sintética tornou-se conhecida por aquela época, mas não era economicamente viável. A produção artificial -- que era diferente da sintética, procurando imitar a natureza na produção de salitre -- também não se mostrou compensadora. Os cientistas concentraram seus esforços nestes dois processos, principalmente na produção artificial, mas não conseguiram superar as práticas de produção já conhecidas, a partir de condições naturais. Este fracasso dos projetos dos cientistas não significa, contudo, que o programa para o incremento da produção de salitre foi mal sucedido, nem que a ciência não desempenhou um papel vital neste processo.

Quando os cientistas voltaram suas atenções para o problema da produção de salitre, havia já um bom número de práticas para esta produção. Todavia, estas práticas empíricas e baseadas na experiência apresentavam naquela época uma quantidade muito grande de variações. Não existia um consenso a respeito de como devia ser exatamente o processo de produção de salitre, e cada praticante tendia a ter sua própria receita.

É neste ponto que o papel da ciência foi decisivo. A ciência foi aplicada na análise e crítica das práticas existentes, particularmente na extração e refinamento. A ciência podia dizer quais as reações que ocorriam no processo de produção de salitre, e por isso podiam avaliar as práticas existentes. Por exemplo, a maior parte das práticas adicionava sais durante o processo, mas as diferenças começavam nos sais empregados no processo. É então que a ciência podia ser empregada, pois um

conhecimento da química das reações envolvidas permitia dizer qual adição era realmente necessária, quais sais exatamente deviam ser empregados, e em que proporção. Foi só a partir de conhecimentos como este que a produção de salitre pôde atingir uma eficiência e rapidez muito acima das anteriores, quando o esforço de cientistas, sobretudo de Lavoisier, não tinha ainda se dirigido para este problema. Embora a produção sintética e artificial tenham fracassado, persistindo os processos artesanais anteriores, a ciência, a partir de um conhecimento das reações envolvidas, tornou estes processos tradicionais muito mais eficazes.

3.7 - Potência, trabalho e energia

Cardwell [11] não vê o desenvolvimento dos conceitos de potência, trabalho e energia simplesmente como um resultado da celebrada disputa da *vis viva* no século dezoito. Além desta disputa no interior da ciência, Cardwell chama a atenção para o fato de que, nos dois séculos durante os quais estes conceitos se desenvolveram, também ocorreu a maturação da engenharia de potência, baseada na força da água (rodas d'água) e do vapor. Os progressos científicos em eletricidade também tiveram influência.

O conceito de energia baseou-se no de trabalho, e o desenvolvimento do conceito de trabalho, de acordo com Cardwell, teve uma história de dois séculos. *O conceito de trabalho emergiu tanto da reflexão teórica quanto da experiência da engenharia.* Inicialmente apenas parcialmente relacionados, teoria e engenharia foram se aproximando gradualmente.

A história do desenvolvimento dos conceitos de potência, trabalho e energia começou com Galileu, Newton e Parent. Parte desta história já foi citada noutro item (3.4), relacionada com as rodas d'água. A primeira contribuição notável para esta questão no âmbito da tecnologia deveu-se a Smeaton -- o mesmo Smeaton que Reynolds (3.4) considerava um mero empírico. Smeaton procurou explicar a superioridade da roda d'água

de gravidade sobre a de impacto, postulando uma perda de *vis viva* - MV , ou o produto do peso (massa) pela velocidade -- devido a choques inelásticos. Smeaton chegou a realizar experimentos para tentar demonstrar a plausibilidade de sua hipótese. Porém, os newtonianos daquela época rejeitavam, de modo ortodoxo, a hipótese das perdas devidas a choques inelásticos.

Enquanto o progresso teórico pouco avançava além disso, os engenheiros introduziram, usaram e difundiram o conceito quantitativo de potência -- produto da força pela distância pelo tempo -- tomando como unidade de força aquela desenvolvida por um cavalo -- pois o importante era justamente comparar o desempenho de máquinas entre si, e entre os métodos tradicionais de tração animal. Cardwell observa, porém, que este conceito não podia ser meramente prático, requerendo principalmente a compreensão e aceitação do princípio de Galileu -- baseado na idéia de que a força resultante necessária para o movimento (uniforme) é a mesma que a para o equilíbrio.

Na segunda metade do século dezoito, a tecnologia hidráulica tornou-se sofisticada. Não era mais o tempo de bucólicas rodas d'água. A eficiência tornou-se uma questão de grande importância, o mesmo valendo para os problemas de medi-la. Máquinas sofisticadas eram construídas em acordo com o preceito de Smeaton, como as rodas de Poncelet, que possuíam lâminas suficientemente curvas para evitar a perda devido ao impacto turbulento. Engenheiros -- e alguns teóricos -- tornaram-se conscientes da perda por impacto turbulento, e concentraram seus esforços nos problemas de eficiência relacionados a este problema. Além disso, o desenvolvimento do engenho a vapor trazia a necessidade de medir a eficiência em termos da quantidade de carvão consumido, e não apenas em termos hidráulicos. O trabalho dos engenheiros forçava o desenvolvimento dos conceitos de trabalho, potência, energia, e prenunciava o aparecimento da termodinâmica.

Cardwell conta que toda esta efervescência e avanço na tecnologia hidráulica e do vapor no século dezoito trouxe consigo

uma clarificação e retificação dos conceitos, e um avanço teórico patrocinado especialmente pelos engenheiros franceses. Lazare Carnot (pai de Sadi), por exemplo, estabeleceu um importante princípio (ver item 3.8), além de possuir um conceito muito próximo do que chamamos hoje de energia potencial. Havia-se chegado também a um consenso sobre certos conceitos, como o de trabalho, estabelecendo uma terminologia e uniformizando unidades. No primeiro quarto do século dezanove, Coriolis afirmava que todos os *práticos* chamavam de "força viva" o trabalho que produzia a velocidade adquirida por um corpo, ou seja, se o trabalho era gMH (M = massa, H = altura), a "força viva" devia ser $1/2 MV^2$ -- ou metade da chamada *vis viva*. (E, então, $gMH = 1/2 MV^2$.) Na mesma época, a potência já havia sido definida como gMH/T (T = tempo). Cardwell também descarta o ponto de vista de que Thomas Young teria sido o inventor do conceito de energia, pois entre outras coisas, ele sequer tinha superado a controvérsia em torno da *vis viva* -- MV contra MV^2 . Cardwell observa ainda que a ortodoxia newtoniana foi abandonada, adotando-se uma perspectiva em acordo com a "nova mecânica".

Ainda segundo Cardwell, Peter Ewart, que era sobretudo um engenheiro prático, e que teria conhecido todos os líderes da revolução industrial, tendo inclusive trabalhado para Boulton e Watt, chegou a conclusões muito interessantes, especialmente com respeito ao trabalho obtido através da queima de carvão. Ewart quase chegou a afirmar que a uma dada quantidade de calor corresponde exatamente uma certa quantidade de trabalho. Para Cardwell, Ewart estava inserido numa tradição -- ligada à cidade de Manchester -- que terminaria por estabelecer o princípio da equivalência mecânica do calor -- estabelecido por Joule. Ewart recebeu o apoio de Watt para suas idéias sobre calor e energia. Por outro lado, Holtzmann, estudando o engenho a vapor, chegou a uma medida acurada do calor correspondente a um trabalho mecânico, porém de um ponto de vista estritamente operacional, pois Holtzmann não tinha nenhuma idéia da transformação do calor em trabalho -- o que só foi estabelecido rigorosamente por Joule.

Cardwell conclui que a transformação de potência hidráulica ou de calor em potência mecânica, principalmente por sua dramática influência na vida prática, não podia ter deixado de influenciar o desenvolvimento do pensamento científico, da mesma maneira que o antigo e profundo interesse em compreender a natureza dos céus influenciou o desenvolvimento da mecânica. Embora reconhecendo que a mecânica newtoniana poderia, a seu tempo, prover a resposta àquelas questões, Cardwell enfatiza que a tradição ortodoxa era menos sugestiva e menos perspicaz que a nova mecânica. Ele também tem sérias dúvidas de que aqueles conceitos estavivessem implícitos no trabalho de Newton, como alegou-se depois, pois, se Newton realmente conhecesse os conceitos de trabalho e energia, então porque seus seguidores, que eram inegavelmente competentes, queriam seguir na direção errada?

A velha disputa havia sido entre a teoria do momento (MV) e a teoria da vis viva (MV^2). O surgimento da mecânica prática e a grande diversidade de máquinas de potência enfatizaram cada vez mais a prática, no final do século dezoito e início do dezenove. Neste contexto cresceu a importância teórica do conceito de trabalho, nas mãos dos engenheiros e matemáticos franceses. Nesta época que a vis viva foi trocada por $1/2 MV^2$ (energia cinética). No século dezenove os conceitos de trabalho e energia foram sedimentados. Cardwell observa, quanto ao conceito de energia, que ele só foi generalizado após o estabelecimento da Primeira Lei da Termodinâmica. Então, outros processos físicos e químicos foram incluídos, além dos tradicionais da mecânica.

3.8 - Predecessores de Carnot

Thomas Kuhn [35] declarou-se desconcertado ao descobrir precedentes para o trabalho de Sadi Carnot. Até então, Kuhn considerava a contribuição de Carnot para a física teórica, se não a mais fundamental que os historiadores conhecem, ao menos como aquela com menores precedentes, em contraste mesmo com

trabalhos como o de Newton ou Einstein. Kuhn acredita que a literatura da física teórica e da engenharia eram separadas no século dezoito, embora não completamente. Por isso, os precedentes para o trabalho de Carnot, que estava mais ligado à tradição da engenharia, devem ser encontrados antes nesta tradição. Embora se reconheça que a contribuição de Carnot para a física resulte de seus interesses por problemas de engenharia prática, observa Kuhn, ninguém investigou quais precedentes técnicos serviram a Carnot.

Kuhn não escapa à clássica confusão entre física e engenharia, ou cientistas e engenheiros. Kuhn afirma que Carnot estava menos associado à tradição representada Huyghens, Newton, d'Alembert, Lagrange, Laplace ou Poisson, do que à representada por Parent, Belidor, Smeaton, Coulomb, Lazare Carnot, Borda, Bossut, Prony, Naier ou Hachette. Bernoulli e Euler estariam, segundo Kuhn, entre os poucos a contribuir para ambas as tradições. (Mas, por exemplo, vimos antes que Reynolds e Cardwell consideram Parent um cientista newtoniano, e Kerker mostrou que Huyghens trabalhou em um engenho de pistom. O engenheiro Coulomb, por sua vez, é famoso por sua contribuição à eletricidade, e assim por diante.) Em uma nota, Kuhn avisa que não pode tratar ali do complexo problema da diferenciação entre as tradições européias na engenharia e na ciência abstrata, mas reconhece que não há uma divisão clara, e que este problema merece uma discussão mais ampla, que ele espera poder fazer em outro lugar -- mas da qual não tenho nenhum conhecimento de que ele tenha feito.

Interessado em maximizar o desempenho do engenho a vapor, Carnot estava familiarizado com as questões voltadas para esta máquina na tradição da engenharia. Segundo Kuhn, Carnot adquiriu com esta tradição, por exemplo, o conceito quantitativo de trabalho, uma medida sempre presente na literatura da engenharia, mas *conspicuosamente ausente na literatura científica*. Kuhn diz também que os engenheiros frequentemente utilizavam teoremas demonstrados pelos cientistas, porém,

regularmente desenvolvendo-os de modo diferente, para a aplicação em problemas distintos dos que interessavam aos cientistas.

Kuhn observa que os engenheiros também desenvolviam seus próprios teoremas, como Lazare Carnot, que postulou o importante teorema de que, para obter um desempenho máximo, a operação das máquinas não devia permitir mudanças bruscas, exigindo que as mudanças de movimento sempre se dessem através de graus insensíveis ou contínuos. (Nas rodas d'água, por exemplo, este princípio ajudava a prevenir contra o impacto turbulento.) No engenho a vapor, este teorema previnha contra a existência de descontinuidades térmicas, colocando-se corpos quentes em contato direto com outros frios. Conforme notou Sadi Carnot, isto se traduzia em não permitir uma mudança de temperatura que não fosse devida a uma mudança de volume. Sadi Carnot também ecoou seu pai ao reconhecer a importância de retornar o engenho sempre à posição inicial antes de calcular o trabalho.

Kuhn afirma que Carnot deve ter aprendido ainda, com a literatura dos engenheiros, a calcular o trabalho por ciclo como o produto da seção transversal do cilindro pela extensão do golpe e pela pressão diferencial. Carnot também aprendeu a *fazer as idealizações e abstrações apropriadas* para o cálculo do engenho a vapor -- por exemplo, considerando um cilindro perfeitamente calibrado, com sua haste e duas válvulas. Ampliando a mesma linha de idealizações, Carnot ignorou a haste e descartou as válvulas. Ele aprendeu ainda a calcular o aumento de desempenho (trabalho) devido ao aumento da temperatura da caldeira. E, o que é mais significativo, Carnot aprendeu com os engenheiros a calcular o aumento de desempenho devido à diminuição da temperatura do condensador, o que indicava a importância tanto da fonte doadora quanto da fonte coletora de calor.

Por último, ao contrário de outros, que assumiam pressão constante durante o golpe para cálculo do trabalho, o livro de Hachette e a largamente publicada patente de Watt ensinavam a calcular o trabalho por ciclo quando a pressão não era constante. Mais importante ainda, a patente de Watt,

discutida extensamente por Carnot, distingüia agudamente, por meio tanto de uma tabela quanto de um diagrama, a parte inicial do golpe, durante a qual o cilindro está conectado à caldeira e a pressão é constante; da segunda parte do golpe, isolada da caldeira e durante a qual a pressão diminui. Como se pode ver, estas duas fases detectadas por Watt correspondem basicamente às duas primeiras etapas do ciclo de Carnot. Watt apenas não assinalava que a temperatura também diminui com a pressão. Hachette, porém, fazia esta observação explicitamente, e Carnot podia ter conhecido isto também por meio da literatura científica que tratava de compressão adiabática.

Enfim, todas estas informações teriam chegado a Carnot por meio da literatura da engenharia, exceto talvez o conhecimento de que a temperatura diminui na expansão adiabática. Infelizmente, Kuhn nada diz acerca de como estas informações foram introduzidas nesta literatura, exceto que não foram absorvidas da literatura científica, pois elas não se encontravam ali.

Outra preocupação que Carnot tem em comum com a engenharia era a comparação da eficiência de várias substâncias que pudessem fornecer trabalho através de expansão térmica. Para Carnot, como acontecia na literatura da engenharia, a única alternativa ao vapor realmente considerada e discutida era o ar. O próprio engenho de Carnot era um engenho ideal, a ar ou a gás, e não a vapor. Por isso Kuhn acredita que engenhos a ar podiam ter sido mais úteis para as reflexões de Carnot do que os engenhos a vapor. Em outro artigo [36], Kuhn especula acerca da influência do engenho de Cagnard. Nesta máquina, um mecanismo acionado pelo próprio engenho fornece ar frio a um reservatório de água quente, que aquece o ar, provocando sua expansão, o que aciona uma roda de êmbolos profundamente submersa no reservatório de água quente. Obviamente, a expansão do ar é que garante um trabalho extra, cinco vezes maior que o necessário para acionar o mecanismo que fornece o ar frio -- um parafuso de Arquimedes invertido imerso no reservatório de água fria. A possível

importância desta máquina, deste engenho a ar, para Carnot, suspeita Kuhn, resulta de sua simplicidade e pequeno número de componentes, e principalmente do fato de a única coisa que é fornecida a ela ser o calor. Segundo Kuhn, esta máquina pode ter sugerido a Carnot a idéia de que o calor gera trabalho mecânico. Kuhn fala do paralelismo que Carnot estabelece entre o impacto da água numa roda d'água e o impacto do calor num engenho. O engenho de Cagnard pode ter sugerido justamente esta imagem, observa Kuhn. Isto amenizaria o gigantesco salto conceitual de Carnot, ao sugerir que o calor produz trabalho. (Note-se que Carnot não sugeriu que o calor podia ser transformado em trabalho, mas sim que produzia trabalho.)

3.9 - O trabalho de Joule

Cardwell [12] estudou a contribuição de Joule, acerca da convertibilidade de calor em trabalho, com a intenção de determinar: o contexto no qual surgiu no qual esta contribuição apareceu trabalho, e a influência que a formação de Joule teve neste processo. influência da formação de Joule. Na primeira metade do século dezanove havia uma euforia em torno da eletricidade. Uma das maneiras pela qual esta euforia se expressava era a confiança que se depositava nas possibilidades dos engenhos eletromagnéticos. Considerações teóricas pareciam tornar razoável supor que, a menos de problemas como a existência de atrito, seria possível construir um motor elétrico rotativo de velocidade infinita, e, portanto, de potência infinita (quase). Coisas semelhantes já haviam sido pensadas muitas vezes antes. Por exemplo, no início do século dezoito, pensou-se que os engenhos a vapor a alta pressão teriam sua potência limitada somente pela resistência da caldeira, pois acreditava-se possível atingir pressões próximas da infinita, a temperaturas finitas, simplesmente deixando-se acumular mais e mais vapor. Este raciocínio envolvia, entre outras falhas, uma certa confusão entre os conceitos de trabalho e pressão.

Joule foi um engenheiro que, no início de sua carreira, incluiu-se entre aqueles que tentaram aperfeiçoar o motor elétrico. Sua formação como engenheiro o colocou em familiaridade com os métodos, os problemas e o estado da engenharia de sua época. Joule realizou experimentos, aperfeiçou um galvanômetro, melhorou a técnica de laminação, e, ao contrário de alguns contemporâneos, *fez medições exatas*. Os resultados destas medições levaram Joule a uma conclusão pessimista. Ele obteve como resultado que as baterias consumiam uma quantidade de zinco que produzia pouco mais de um quinto do trabalho obtido por um engenho a vapor, utilizando a mesma quantidade em peso de carvão. Joule concluiu que o motor elétrico, nestes termos, jamais poderia competir com o engenho a vapor.

Joule decidiu então mudar a direção de suas pesquisas, observando que seria importante antes de tudo aperfeiçoar suas baterias, pesquisando também a geração de calor por meio de correntes elétricas. Foi então que Joule descobriu que o calor produzido por um elemento de circuito é proporcional ao quadrado da corrente multiplicado pela resistência, mostrando que esta lei valia não só para resistências metálicas, como para baterias e células eletrolíticas. Joule estendeu suas pesquisas para o calor de combustão. A seguir, ele estabeleceu a equivalência entre calor e trabalho mecânico. Finalmente, no último, maior e decisivo passo, Joule mostrou a *intercambialidade entre calor e trabalho*.

Joule planejou e executou uma série de experimentos, os quais mostraram, dentro de uma margem aceitável de erro, que o mesmo valor experimental era obtido para a relação entre calor e seu equivalente mecânico, quaisquer que fossem os processos envolvidos ou os materiais utilizados. A partir disto, embora não houvesse nenhum experimento realmente crucial, a teoria defendida por Joule passou a receber apoio crescente, e o efeito cumulativo dos resultados experimentais fez com que convergissem as opiniões dos engenheiros mecânicos, dos químicos, físicos, eletricitistas, meteorologistas, etc.

Cardwell observa o fato de que foi decisiva, para a descoberta da interconvertibilidade entre calor e trabalho, a familiaridade de Joule com a única maneira efetiva de medir o trabalho, que fazia parte do conhecimento mecânico dos engenheiros -- antes que dos cientistas. Ou seja, Joule pensava em termos do conceito de trabalho com o qual os engenheiros lidavam, em vez dos conceitos de força e momentum, com os quais os cientistas se ocupavam. Isto significa que a contribuição de Joule estava voltada para a engenharia, não para a física.

Cardwell tece algumas especulações em torno do fato de Joule nunca ter ido à universidade. Ele argumenta que Joule tinha tudo para isso, e que ele teria sido um cientista notável. No entanto, Joule provavelmente não teria formulado sua teoria dinâmica do calor. A tradição que vinha desde Newton, estendida pelos mestres franceses mais recentes, teria varrido as idéias heterodoxas que eram o ponto de partida do trabalho fundamental de Joule.

Joule, ao contrário, formou-se em contato com a tradição da engenharia, adquirindo as habilidades e competências de um engenheiro, seus conceitos e suas orientações. Cardwell acredita que esta influência estava ligada à cidade de Manchester, na época um centro de "alta tecnologia". Manchester, além de favorecer as habilidades industriais e da engenharia, também fomentava a ciência, através da Sociedade Literária e Filosófica, da qual participavam cientistas, matemáticos e engenheiros -- entre eles John Dalton, que foi presidente da Sociedade, e por quatro anos deu aulas particulares a Joule. A combinação destes dois contextos é que teria influenciado Joule de uma maneira especial. Peter Ewart, que foi engenheiro e vice-presidente da Sociedade Literária e Filosófica, tinha inclusive publicado um artigo sobre os conceitos de trabalho e *vis viva*, recebendo a aprovação e apoio de Dalton e de Watt. Joule estava diretamente ligado a esta tradição.

A heterodoxia no trabalho de Joule poderia ser menos surpreendente, segundo Cardwell, observando-se a independência de

Manchester dos outros centros científicos da Inglaterra naquela época. Manchester estava mais ligada à Escócia e à Alemanha. Dalton foi reconhecido antes na Escócia, e Helmholtz e Clausius foram os primeiros a aceitar o trabalho de Joule. Por outro lado, em Londres, Michael Faraday não compreendeu o trabalho de Joule, e Wheatstone rejeitou o artigo de Joule de 1844, em nome da Sociedade Real. Outro aspecto importante no trabalho de Joule, observado por Cardwell, refere-se à habilidade e acurácia extremamente meticulosa com que Joule conduzia seus experimentos em busca de uma teoria quantitativa. Esta preocupação com leis quantitativas parece ausente em Faraday, que para Cardwell estaria mais interessado na descoberta de *novos fenômenos*. Cardwell acredita que as *habilidades* do engenheiro têm algum efeito sobre a física de Joule.

Por tudo isso, e também pelo paralelismo com o caso de Carnot, Cardwell acredita que não é possível negar que fatores tecnológicos tiveram um importante papel no desenvolvimento da teoria dinâmica do calor e com o estabelecimento do princípio geral da conservação de energia -- ou seja, com o desenvolvimento da termodinâmica. O conceito de trabalho, as idéias da termodinâmica, as contribuições de Joule, tudo isto nasceu de fontes tecnológicas. Cardwell acredita que o caso de Joule apoia a tese, sugerida por outros estudiosos, de que a física tem sido derivada, em parte, da engenharia, de que esta última foi importante para o desenvolvimento da física.

3.10 - O injetor de Giffard

Kranakis [33] conta que, em 1858 Henri Giffard, inventor parisiense, patenteou um injetor, isto é, um instrumento destinado a alimentar com água caldeiras a vapor. Este sofisticado e famoso invento intrigou um grande número de cientistas e engenheiros. Mesmo em 1908 este instrumento ainda despertava interesse teórico, pois neste ano Henri Poincaré propôs-se a apresentar, em seu livro *Thermodynamique*, uma análise

original do injetor de Giffard, que Poincaré julgava que até então não havia ainda sido considerado a contento.

Segundo Kranakis, embora não diplomado em engenharia, Giffard acompanhou informalmente os cursos da *École centrale*, que integrava um complexo de escolas de engenharia que representavam a elite da sofisticada tecnologia científica que caracterizava a engenharia francesa daquela época. Giffard absorveu e adotou intensamente aquele estilo científico e acadêmico de engenharia.

De acordo com Kranakis, Giffard costumava utilizar teorias para projetar instrumentos e aparelhos. Mesmo para a construção de um dirigível, Giffard procurava guiar-se racionalmente, utilizando fórmulas derivadas da hidráulica, mecânica, estática e da teoria e prática do desenho. Por exemplo: Giffard desenvolveu uma teoria básica de hélices propulsoras, a partir da mecânica, calculando a resistência do ar que o balão teria de vencer, e daí calculando a inclinação das lâminas e a velocidade angular da hélice, e prevendo sua deflexão, que ele procurou evitar através de uma pré-inclinação contrária. É claro que as teorias que Giffard usou neste caso eram derivadas de outras áreas, e não forneciam resultados muito corretos. Além do mais, estas fórmulas costumavam apresentar coeficientes empíricos, que Giffard tinha de adaptar para os casos específicos que lhe interessavam. Por razões como estas, Giffard também realizava muitos experimentos, esperando que pudessem incrementar a precisão das teorias e verificá-las. Os métodos que Giffard utilizou na elaboração e construção de seu injetor eram análogos a estes que ele empregou no projeto de dirigível movido a vapor. Em ambos os casos, ele iniciou com uma análise do problema tecnológico, encontrando a seguir os princípios que fundamentariam seu trabalho teórico e orientariam seu trabalho prático, a fim de resolver o problema proposto.

O abastecimento de caldeiras a vapor costumava ser feito por meio de bombas de sucção. Mas o uso destas bombas, nestes casos, era ineficiente e muito problemático. Foi neste contexto que Giffard concebeu seu injetor. Giffard tomou como

ponto de partida o princípio das correntes induzidas, de Venturi, que dizia que a aceleração de um fluido, em relação a outro fluido que o circunda, provoca a aceleração também do fluido circundante -- um caso especial do teorema de Bernoulli, que estabelece a conservação da energia em um fluido em fluxo horizontal, ou seja, que uma variação de pressão (energia potencial) é compensada por uma variação de velocidade (energia cinética), e vice-versa. Giffard havia compreendido o alcance e aplicabilidade do princípio das correntes induzidas observando as chaminés das locomotivas: o vapor se expande e ganha velocidade, chocando-se com os gases derivados da fornalha, fazendo-os acelerar também, o que diminui a pressão, e faz com que os gases na fornalha fluam ainda mais na mesma direção, o que incrementa a ventilação na fornalha, ativando a combustão. Graças a seus conhecimentos de mecânica, Giffard compreendia o processo microscopicamente, como minúsculas bolas de bilhar chocando-se entre si e transferindo momentum. Giffard também reconhecia a existência de troca de calor no processo.

Seria muito longo apresentar os detalhes do injetor de Giffard. Resumidamente, tratava-se de um instrumento no qual um tubo que sai da caldeira vai se estreitando, até uma agulheta através da qual o vapor é expelido. Aí, o vapor desemboca em outro tubo em estreitamento, o tubo de combinação, que está ligado a um reservatório de água para a alimentação. No tubo de combinação o vapor se mistura à água proveniente do reservatório, saindo através de uma segunda agulheta. O vapor está praticamente parado na caldeira, acelerando logo que passa pela primeira agulheta, transformando sua pressão e temperatura em momentum. Sua aceleração provoca a aceleração do fluido circundante, provocando a sucção da água do reservatório de alimentação, sucção que é aumentada ainda mais pela formação de vácuo parcial devido à condensação de parte do vapor no tubo de combinação. Assim, o vapor que sai pela primeira agulheta mistura-se à água proveniente do reservatório. Esta mistura entra então noutro tubo, o de expedição, que é separado do tubo de combinação por

meio de uma pequena distância, a qual tem a função de permitir a saída do excesso de vapor para o exterior. Ao sair pela segunda agulheta, a água -- mais o vapor remanescente -- dirige-se ao tubo de entrada, enquanto o excesso de vapor sai para o exterior. É através do tubo de entrada que a água entrará na caldeira. O tubo de entrada é estreito no início, alargando-se ao se aproximar da válvula que dá acesso à caldeira. Nesta região alargada a pressão aumenta, ficando em condições de superar a pressão da caldeira, permitindo o ingresso da água.

Giffard utilizou o teorema de Torricelli para determinar a velocidade do vapor ao sair da caldeira ($V_v = \sqrt{(2gP/\gamma_v)}$, onde g é a gravidade, P a pressão na caldeira, γ_v o peso específico do vapor). Então, a conservação de momentum permite escrever $M_v V_v = (M_v + M_a) V_m$, onde M indica massa, v vapor e a água, que permite encontrar a velocidade da mistura de água e vapor V_m ao deixar o tubo de combinação. Giffard considerou também que, no tubo de expedição, todo vapor deveria ser transformado em água, pois as moléculas de vapor são menos densas que as de água, e portanto exigiriam uma pressão maior que a exigida pelas moléculas de água para entrarem na caldeira. Giffard utilizou então uma equação de calor, baseada em uma teoria do calor latente do vapor conhecida naquela época, para determinar a proporção de água e vapor na mistura, a fim de que todo vapor se condense no tubo de expedição. Deste modo, Giffard determinou a relação V_m/V_s . Além disso, Giffard observou que V_m devia ser ao menos igual à velocidade que a água teria se fluísse da caldeira -- em vez de para ela. Portanto, do teorema de Torricelli, $V_m = \sqrt{(2gPK/\gamma_a)}$, onde K era um coeficiente através do qual Giffard pretendia dar conta das perdas por fricção. Finalmente, Giffard podia obter a relação das seções transversais dos orifícios dos dois agulhetes -- o da saída do vapor da caldeira e o da saída da água (mais o vapor eventualmente remanescente) do tubo de expedição -- por meio de uma equação de vazão.

Observe-se, portanto, que Giffard não poderia ter

concebido o injetor sem seu conhecimento e utilização da ciência. Giffard efetivamente concebeu e projetou o injetor através de princípios e cálculos científicos.

No entanto, se Giffard seguisse rigorosamente seus resultados teóricos, o injetor simplesmente não teria funcionado. Se ele se guiasse apenas por teorias científicas, o injetor não teria passado de um projeto no papel. Em primeiro lugar, o cálculo da velocidade do vapor ao sair da caldeira era bastante incorreto, pois era feito através do teorema de Torricelli, que só vale para fluidos incompressíveis. Outros erros eram cometidos devido à pressuposição de comportamentos de fluidos ideais. Por exemplo, Giffard assumia um fluxo contínuo sem variação de velocidade com o tempo, e assumia também velocidade uniforme em toda a seção transversal dos agulhetes.

Além disto, muitos aspectos do projeto não podiam ser determinados por nenhuma teoria, nem aproximadamente. Por exemplo, para determinar o ângulo de divergência do tubo de expedição, Giffard teve de se orientar por conhecimentos tecnológicos anteriores, e por uma boa intuição do comportamento do fluido. A única informação teórica significativa, neste caso, era a de que uma divergência excessiva produz dissipação de energia por turbulência. Mas esta é uma informação qualitativa. Dados quantitativos tinham de basear-se em conhecimentos empíricos, acrescidos de uma boa intuição.

Kranakis conta que Giffard elaborou o projeto e obteve a patente em um mês, mas levou mais um ano aperfeiçoando o projeto. Para obter um instrumento em condições de funcionar efetivamente, Giffard teve de fazer várias modificações. Ele modificou a forma do tubo de combinação, aumentou o comprimento do tubo de expedição, e introduziu um mecanismo que permitia regular o fluxo saída do vapor. Mesmo assim, foram necessários anos de experimentações e modificações por parte de muitos engenheiros até que o injetor se tornasse o instrumento confiável e eficiente que Giffard pretendia. Nenhuma teoria podia prever quais os refinamentos necessários no projeto para fazer o injetor

funcionar efetivamente.

Porém, o injetor celebrizou-se mesmo devido a aspectos que não estiveram no centro das preocupações de Giffard. Naquela época ainda era predominante a teoria do "calórico". O calor seria uma substância (fluido ou partícula) elástica que, adicionada à água, faria suas moléculas se separarem, provocando o surgimento de num fluido elástico, o vapor, composto de água e calor. Um exame do injetor, à luz desta teoria, sugeria a interpretação de que o calor acompanhava o vapor ao sair e voltar à caldeira. Deste modo, a água seria elevada do reservatório de alimentação até a caldeira sem que houvesse nenhuma perda de calor.

Carnot havia sido ambíguo acerca da natureza do calor, e o trabalho de Joule ainda era muito pouco conhecido e aceito quando Giffard concebeu seu injetor. O aparente paradoxo que o injetor acarretava, à luz da teoria do calor como substância, colocou-o no centro do debate acerca da natureza do calor. Através destes debates, difundiu-se a teoria dinâmica do calor, segundo a qual o calor é interconvertível ao trabalho. Assim, compreendeu-se que o trabalho necessário para a elevação da água do reservatório até a caldeira corresponde exatamente ao calor fornecido pelo vapor.

Porém, o aprofundamento da compreensão de que calor e trabalho são permutáveis não foi a única contribuição notável do injetor. Ligado a isto, e provavelmente ainda mais importante, está o fato de que o injetor voltou a atenção para o fluxo do vapor, influenciando significativamente no desenvolvimento da engenharia termodinâmica. Embora se compreendesse a transformação de calor em trabalho no injetor, demorou-se mais para compreender como esta transformação ocorria. A dificuldade estava na inexistência de informações, tanto teóricas quanto empíricas, acerca do que ocorria com a temperatura, pressão, velocidade e densidade do vapor ao sair da caldeira. Antes do injetor, as investigações se concentravam na expansão e compressão do vapor sob várias condições -- como temperatura constante, por exemplo

-- em vez de focalizar o fluxo de vapor.

Kranakis afirma que o próprio Giffard foi o primeiro a compreender o que ocorria na expulsão do vapor. Kranakis acredita que Giffard não estava consciente da convertibilidade entre calor e trabalho antes de elaborar seu injetor, embora isto fosse possível. De qualquer maneira, Kranakis afirma que Giffard, mesmo em sua teoria do injetor mais recente, de 1860, não estava familiarizado com os métodos que haviam sido estabelecidos para tratar da relação entre calor e trabalho, como demonstra o fato dele não ter utilizado o valor para a equivalência mecânica do calor, que qualquer um familiarizado com a teoria dinâmica do calor teria utilizado. Giffard postulou que, ao sair da caldeira, a pressão do vapor diminui até atingir a pressão atmosférica, e a temperatura cai até a temperatura de saturação sob pressão atmosférica (100°C). Giffard tomou a variação de calor do vapor dentro e fora da caldeira -- calculado por meio de uma teoria do calor tradicional da época -- como medida do trabalho realizado pelo injetor, o que é aproximadamente correto, exceto pela reconversão de energia cinética em calor devido ao choque inelástico com a água proveniente do reservatório de alimentação. Kranakis suspeita que Giffard pode ter chegado a uma compreensão da intercambialidade de calor em trabalho de maneira independente, induzido pela própria maneira pela qual Giffard via a operação do injetor, embora não seja possível encontrar evidência direta ou conclusiva a este respeito.

A compreensão de Giffard da saída do vapor da caldeira era basicamente correta, embora intuitiva e apenas qualitativa. No entanto, isto pouco ajudava no verdadeiro problema que o injetor levantava, que não era acerca desta compreensão qualitativa de seu funcionamento, mas acerca do estabelecimento das leis do fluxo do vapor.

Segundo Kranakis, uma das mais importantes questões levantadas pelo injetor foi acerca das leis que regiam o fluxo do vapor. Ao mesmo tempo, o injetor foi o primeiro instrumento a exigir um conhecimento mais preciso destas leis. A fim de

aprimorar o injetor, engenheiros estudaram experimental e teoricamente este instrumento. E os interessados nas leis que regem o fluxo do vapor apoiavam suas teorias em informações (teóricas e experimentais) sobre o injetor, e em experimentos com o injetor. Os conhecimentos sobre o fluxo do vapor que o injetor promoveu tornaram-se parte integrante da engenharia termodinâmica, e influenciaram o desenvolvimento tecnológico, especialmente o da turbina a vapor.

Kranakis conclui que a história do injetor indica que a adoção de teorias científicas não é sempre suficiente para o desenvolvimento de novas invenções, *nem para a resolução de problemas teóricos dentro da tecnologia*. A familiaridade com as leis da termodinâmica não permitiu uma aplicação fácil e imediata ao problema do fluxo do vapor levantado pelo injetor. Pelo contrário, *os engenheiros tiveram de construir um novo corpo de conhecimentos teóricos e experimentais para compreenderem o fenômeno*. Deve ter sido este novo conjunto de conhecimentos o que foi essencial para o desenvolvimento da turbina a vapor, e *não apenas os princípios básicos da termodinâmica*.

Para Kranakis, este caso ajuda a compreender a mudança tecnológica, e a relação entre mudanças no conhecimento tecnológico e científico com mudanças no projeto de artefatos. Neste caso do injetor, o estudo da relação entre idéia e artefato revela que o significado deste instrumento ultrapassou em muito o problema da alimentação de caldeiras a vapor.

Para mim, o estudo de Kranakis revela também que a ciência foi, neste caso, influenciada pela tecnologia. Mais que isto, este caso ilustra como podem ser variadas e complexas as relações entre ciência e tecnologia. Pois, desde o início da história do injetor, aparece uma emaranhada conjunção de ciência e tecnologia, e a evolução desta história revela um encadeamento de conquistas na ciência e na tecnologia, na teoria e na prática. Neste encadeamento e interdependência, cada passo abre caminho para os passos seguintes, com os passos precedentes e sucessores pertencendo tanto à ciência quanto à tecnologia.

3.11 - Engenho diesel

Bryant [5], observa que uma parte muito significativa do esforço de aperfeiçoamento do engenho a vapor, a fim de torná-lo mais econômico, foi dirigida para os pequenos passos, para as pequenas melhorias na estrutura, nos materiais, na lubrificação, etc. Vistos individualmente, estes pequenos passos parecem ter sido de pouca importância, mas, tomados em conjunto, eles ajudaram a manter a supremacia do engenho a vapor até boa parte do século XX.

Segundo Bryant, boa parte destes pequenos aperfeiçoamentos, e também dos grandes, foi obtido por homens práticos pouco preocupados com teorias. No entanto, observa Bryant, até estes engenheiros práticos foram influenciados por idéias como as da termodinâmica, mesmo que eles não tivessem consciência disto e desdenhassem as teorias. A noção da equivalência entre calor e trabalho e da conservação de energia voltou os esforços para a detecção do consumo de calor. Toda perda de calor tinha de ser anotada e, se possível, atenuada. Portanto, mesmo as orientações mais práticas podiam ter idéias teóricas como fundo. Segundo Bryant, por volta de 1850 só uma parte dos engenheiros não possuía um conhecimento ao menos razoável de termodinâmica. Em compensação, haviam engenheiros que compreendiam perfeitamente o progresso da termodinâmica, e que procuravam aplicá-la em seus trabalhos. No entanto, estes engenheiros mais teóricos encontravam dificuldades em confrontar os princípios básicos da termodinâmica com as complexidades dos engenhos reais. De fato, Bryant tem a impressão de que os maiores passos no desenvolvimento do engenho a vapor provinham sobretudo daqueles que estavam menos ligados às teorias, enquanto que os mais teóricos se incumbiam de avaliar aqueles avanços -- apesar de também contribuírem para o avanço da construção de engenhos.

* *

Por outro lado, haviam os engenheiros fortemente orientados para a teoria, como Rudolf Diesel, que Bryant analisa em outro artigo [6]. Orientando-se pelos conhecimentos científicos e tecnológicos disponíveis em 1890, Diesel estava empenhado em encontrar um fluido para substituir o vapor nos engenhos. Outros já haviam tentado isto, muitos deles tendo fracassado justamente por não compreenderem adequadamente os princípios da termodinâmica. A procura por um substituto para o vapor era motivada pela constatação de que apenas uma pequena parte do calor era aproveitada nos engenhos utilizando este fluido.

A idéia chave de Diesel era construir um engenho no qual ocorresse uma combustão no interior do engenho. Diesel pretendia construir um engenho que ficasse muito próximo do engenho ideal de Carnot, isto é, que se aproximasse o máximo possível do ciclo de Carnot. Baseado em seus conhecimentos de termodinâmica, Diesel imaginou um engenho no qual ocorresse combustão interna a temperatura constante. O plano de Diesel era utilizar o ar no interior do cilindro, comprimindo-o a uma pressão e temperatura muito altas. Diesel queria fazer com que o combustível fosse introduzido gradualmente no cilindro contendo ar quente, à medida que este ar começasse a se expandir, de tal maneira que a tendência à elevação da temperatura devido à combustão fosse exatamente contrabalanceada pela tendência à diminuição da temperatura devido à expansão do ar. Como a expansão do ar durante a combustão deveria ser isotérmica, a conversão do calor (da combustão) em trabalho é maximizada. Fica claro, então, como a idéia de Diesel era a de reproduzir o ciclo de Carnot, tanto quanto isto fosse possível na prática.

Diesel recorreu às teorias, e colheu todas as informações que conseguiu de especialistas. Não apenas as idéias principais, como também os cálculos seguiam das teorias. Todavia, Diesel tinha de lidar com problemas técnicos para os quais as teorias forneciam muito pouca ajuda. Bryant faz uma lista dos

principais problemas: comprimir o ar a uma pressão e temperatura muito altas; escolher o combustível correto; injetar o combustível sob uma pressão muito alta; controlar o tempo de injeção e a quantidade de combustível injetado, em quantidades muito pequenas, a pressão muito elevada, por um tempo muito curto, e em pulsos; misturar o combustível com o ar no tempo adequado; provocar a ignição. Apesar da experiência que os engenheiros haviam adquirido com engenhos a vapor, a ar quente e a gás, o empreendimento de Diesel trazia desafios que estavam além do estado da arte daquele tempo.

Pior que isto, conforme conta Bryant, havia problemas em que Diesel trabalhava completamente no escuro, como na área de combustíveis e combustão. A combustão depende do tamanho, localização e força dos jatos de combustível, da forma e grau de puerização, da forma da câmara de combustão. Diferentes tamanhos de cilindro, diferentes velocidades e diferentes combustíveis requerem diferentes táticas de injeção. Para lidar com todos estes aspectos, Diesel só podia contar com abordagens de todo empíricas e métodos de ensaio e erro. Não existia, naquela época, nem uma tecnologia nem uma ciência da combustão capazes de orientar o trabalho de Diesel. E, observa Bryant, ainda hoje a ciência da combustão não é capaz de responder totalmente a questões como estas. Os experimentos, testes e desenvolvimentos de Diesel criaram a tecnologia rudimentar da combustão que ele utilizou.

Diesel levou três anos de sua idéia original, em 1890, até a elaboração do projeto experimental. Demorou mais quatro anos até obter, em 1897, um engenho em condições de funcionamento. Para alcançar este ponto, seu projeto original teve de sofrer inúmeras e significativas modificações, tornando seu engenho muito mais modesto do que ele pretendia, mas que, enfim, funcionava efetivamente. Diesel teve de abandonar, por exemplo, a idéia de provocar uma expansão isotérmica, substituindo-a por uma expansão isobárica, uma característica do que é hoje chamado de 'ciclo diesel', correspondente ao motor

térmico inventado por Diesel. De acordo com Bryant, Diesel teria dito que uma invenção *não é uma idéia pura, mas antes o produto da luta entre Idéia e Natureza, o produto do compromisso entre o ideal e o que pode ser obtido.*

Mesmo assim, embora o engenho de Diesel funcionasse, seu desempenho não era suficientemente bom para que fosse aceito pelo mercado. Foi só no final da primeira década de nosso século, após outra longa série de aperfeiçoamentos, desta vez já sem a participação de Diesel, que o engenho tornou-se uma máquina viável, sendo capaz de conquistar seu lugar no mercado. Porém, observa Bryant, cada vez que se pretendia aplicar o engenho em novo propósito, o desafio era proporcional ao encontrado para o desenvolvimento do primeiro engenho. Este foi o caso com a aplicação do engenho diesel em navios, locomotivas, caminhões, etc. Em cada um destes casos, assegura Bryant, o processo de desenvolvimento tinha de seguir seu próprio caminho, independentemente das demais aplicações, cada uma com suas peculiaridades.

É importante fazer uma observação neste ponto. Diesel foi obrigado a começar a exploração de uma área totalmente nova, a da combustão nas condições peculiares em que seu engenho devia operar. Pressionado pela urgência de concluir o seu invento, Diesel só podia proceder empiricamente na investigação destes aspectos desconhecidos da combustão. Mas é claro que seus seguidores, a fim de incrementar o engenho diesel, não podiam desprezar abordagens mais teóricas deste tema. Desta forma, acredito que uma investigação da evolução da tecnologia da combustão, relacionada ao engenho inventado inicialmente por Diesel, provavelmente revelaria a existência não apenas de novas investigações e experimentações *empíricas* sobre os fenômenos da combustão naquele tipo de máquina. Acredito que, paralela e simultaneamente a estas investigações empíricas, os tecnologistas devem ter desenvolvido investigações *teóricas* acerca daqueles fenômenos.

A propósito, Küppers [37] examina justamente as

relações entre tecnologia da combustão -- na qual se inclui a tecnologia destinada à obtenção de energia mecânica a partir da combustão, de um lado, e a termodinâmica e a mecânica dos fluidos, além da química, de outro. Küppers observa que a termodinâmica e mecânica dos fluidos dividem o mesmo domínio de objetos e o mesmo núcleo teórico com a tecnologia da combustão. Ele nota que estas disciplinas têm sido repetidamente influenciadas umas pelas outras -- nos séculos dezessete e dezoito, a mecânica dos fluidos e a termodinâmica estavam muito próximas de problemas práticos como o suprimento de água e o engenho a vapor. A maior diferença é que nas ciências o objetivo maior é a compreensão dos fenômenos, privilegiando a teoria, enquanto que na tecnologia a realização prática é urgente, e por isto muitas vezes tem de ser perseguida empiricamente. Em muitos casos, a investigação empírica é a única viável, e, talvez, a única possível. De qualquer maneira, Küppers afirma que as investigações na tecnologia da combustão muitas vezes são de caráter teórico, como ocorre nas ciências, e não simplesmente empírico.

Por isto, acredito ser razoável a hipótese (a verificar) de que as investigações sobre a combustão, relacionadas ao engenho diesel, forneceram não só informações e dados sobre a combustão sob aquelas condições, como também cooperaram para uma compreensão teórica daqueles fenômenos, os quais eram desconhecidos antes das investigações de Diesel e seus seguidores.

3.12 - História do transistor

Gibbons e Johnson [22] contestam a tese de que a invenção do transistor possa ser considerada como que um corolário da uma teoria quântica dos semicondutores publicada em 1932 por A. H. Wilson. O trabalho de Wilson é considerado como pesquisa "desinteressada", motivada somente pela curiosidade científica, sem nenhum interesse em aplicações. Porém, Gibbons e

Johnson afirmam que é notório "desde o início da história da semicondução que a pesquisa foi condicionada tanto pelo desenvolvimento de tecnologias associadas quanto por estímulos comerciais e sociais, alguns deles militares".

De acordo com Gibbons e Johnson, a história dos semicondutores surgiu com a observação de vários fenômenos ou efeitos, que conduzia a tentativas cada vez mais sofisticadas de explicar esses fenômenos teoricamente. Os desenvolvimentos empíricos se antecipavam à compreensão teórica, cuja busca era incentivada por aqueles desenvolvimentos. Porém, no início de nosso século, havia muita dificuldade em obter suporte experimental em favor de qualquer das teorias propostas neste campo, em virtude inexistência de técnicas satisfatórias de preparação dos semicondutores, que são extremamente sensíveis a impurezas, luz, calor, à estrutura cristalina e ao modo de formação do contato. A importância e influência destes fatores sequer era bem reconhecida naquela época. Até o final da década de vinte o progresso foi sobretudo empírico. Foi no final daquela década que uma série de desenvolvimentos teóricos culminou no clássico trabalho de Wilson acerca da condução em semicondutores. Gibbons e Johnson afirmam que o trabalho de Wilson situou-se numa época na qual os físicos teóricos estavam ansiosos por aplicar a teoria quântica, e este trabalho de Wilson foi um dos primeiros a fazê-lo. No entanto, observam os autores, a teoria de Wilson não sugeria a existência do efeito transistor, tendo porém fornecido aos experimentadores conceitos que podiam ser utilizados em situações experimentais.

As necessidades da Segunda Grande Guerra favoreceram em muito o desenvolvimento de novas técnicas de manipulação e controle. Após a guerra, havia sido acumulado um significativo conjunto de conhecimentos práticos e teóricos sobre o fenômeno da semicondução. Como contam Gibbons e Johnson, coube aos laboratórios da Bell reunir e desenvolver estes conhecimentos, com um forte interesse em aplicações práticas da física dos estados sólidos. As teorias disponíveis permitiam a previsão de

certos resultados experimentais. Durante as experimentações, resultados anômalos e inesperados foram obtidos, e novas perspectivas foram abertas. Durante o prosseguimento das pesquisas, um resultado particularmente surpreendente foi obtido, conduzindo à descoberta do efeito transistor, em 1948.

Gibbons e Johnson enfatizam que, embora importante, o trabalho de Wilson "não foi suficiente para produzir um amplificador de estado sólido", cujo desenvolvimento dependeu também do aperfeiçoamento de "técnicas metalúrgicas de crescimento e dopagem de cristais". Sem o desenvolvimento dessas técnicas essenciais de dopagem e pureza dos cristais, obtidas independentemente dos esforços teóricos na direção indicada por Wilson, o efeito transistor não poderia ter sido observado.

No entanto, continuam os autores, apesar do entusiasmo despertado, "a produção de transistores confiáveis teve de esperar o desenvolvimento de tecnologias associadas". Em 1952, uma revista especializada observava que era difícil projetar transistores a partir da teoria, e que os transistores tediosamente produzidos a partir do projeto eram pouco confiáveis. Todavia, a velocidade de operação, pequeno peso, baixo consumo de potência e confiabilidade mecânica dos transistores incentivaram seu rápido desenvolvimento.

Gibbons e Johnson acreditam que o desenvolvimento do transistor deva ser considerada mais como tecnológico que científico. Embora o papel da teoria, como a de Wilson, tenha sido fundamental, a história do transistor transcorreu sobretudo no plano tecnológico. A teoria foi apenas um dentre os "muitos fatores que contribuíram para o resultado final". Para os autores, este caso sugere que a tecnologia não é simplesmente ciência aplicada. Para eles, seria mais razoável considerar que entre ciência e tecnologia há uma relação simbiótica e complexa. Eles consideram interessante interrogar de que maneira conceitos teóricos se difundem entre práticas existentes, e como eles estimulam a tecnologia e a própria ciência. De qualquer forma, os autores estão convencidos de que a tecnologia não decorre

diretamente da ciência, e que entre elas há uma interação mais complexa do que se costuma supor.

IV - FILOSOFIA, CIÊNCIA, TECNOLOGIA

4.1 - Técnica e artes mecânicas

(1400 a 1700)¹

Rossi [56] está interessado na técnica e nas artes mecânicas entre 1400 e 1700. A discussão sobre as artes mecânicas alcançou notável intensidade naquele período, ligando-se a alguns grandes temas da cultura européia. "Nas obras dos artistas e experimentadores do século XV, nos livros sobre máquinas e nos tratados dos engenheiros e técnicos do século XVI, ganha corpo uma nova apreciação sobre o trabalho, a função do saber técnico, o significado dos processos artificiais de alteração e transformação da natureza." Na filosofia, surge uma nova valorização das "artes", bastante diferente da tradicional. De acordo com a nova perspectiva, "alguns dos procedimentos utilizados pelos técnicos e artesãos para modificar e alterar a natureza concorrem para o conhecimento efetivo da realidade natural, ou melhor, valem para mostrar - como se disse em *explícita polémica contra as filosofias tradicionais - a natureza em movimento*".

As artes mecânicas eram defendidas da acusação de serem indignas. Recusava-se a identificação da cultura com as artes liberais, e de trabalho servil com as operações práticas. No fundo, isso implicava "no abandono da concepção da ciência como desinteressada contemplação da verdade", que só pode ser buscada depois que as condições de subsistência estão garantidas.

Além da polémica antiaristotélica havia outra,

¹ Este item relaciona-se significativamente, de certo modo, com as considerações sobre a experimentação, observação e procedimentos empíricos no capítulo VI.

amplamente difundida na literatura técnica, "dirigida contra qualquer forma de sabedoria oculta e secreta, contra a antiquíssima concepção sacerdotal do saber. Filósofos naturais e aqueles que escreviam sobre assuntos técnicos coincidiam, de modo unânime, na insistência no caráter público e cooperativo do saber, e em que este último constitui-se de uma série de contribuições individuais, organizadas num discurso sistemático, visando "um êxito geral que deve ser patrimônio de todos os homens".

Em seu livro, Rossi procura os primeiros vestígios destas idéias sobre o saber e a ciência -- as quais, afirma ele, tiveram influência decisiva e determinante sobre a formação e desdobramentos da idéia de progresso científico -- nas obras dos técnicos do final do século XVI, dos homens que trabalhavam nas oficinas, nos arsenais, nos ateliês, e que não mais desprezavam a prática, considerando como forma de conhecimento as operações que se realizavam naqueles locais.

O que estava em questão era a "atribuição de um valor universal a categorias típicas do saber técnico". Estas categorias eram a *perfectibilidade*, a idéia de que as obras futuras poderiam atingir uma perfeição; a *colaboração intelectual*; a *progressividade* do saber ao longo do tempo, obtida como a obra conjunta de muitos colaboradores; e a *invenção*, ou seja, a percepção de que as artes sempre geram resultados novos, o que indicava "a limitação do horizonte cultural dos antigos" e ressaltava "o caráter provisório e histórico das suas descobertas e verdades".

Estas idéias foram aos poucos se firmando e amadurecendo na consciência da cultura filosófica seiscentista, afirma Rossi, "às margens da cultura oficial, fora da cultura acadêmica" e quase sempre em oposição a esta última. Naquela época, vários dentre os maiores expoentes da filosofia da época "fizeram-se intérpretes de algumas exigências vitais, presentes na realidade histórica da Europa moderna".

Os temas acima também inseriam-se nas disputas entre os

antigos e os modernos. Porém, mais interessante, para mim, é verificar a "incidência que a nova valorização da técnica e das artes mecânicas teve sobre as noções de natureza, filosofia e ciência" -- embora Rossi avise limitar-se a uma apreciação por vezes sumária desta questão.

Aquela nova maneira de conceber a prática e as operações penetrou o mundo dos filósofos e dos cientistas, possuindo estreito vínculo com temas como a da concepção do saber como construção, ou a adoção da máquina como modelo para a explicação e compreensão do universo físico, ou o da imagem de Deus como relojoeiro, ou ainda como a tese de que o homem é capaz de conhecer o que -- e somente o que -- ele faz ou constrói.

4.1.1 - Artes mecânicas e filosofia

(século XVI)

Em textos de 1530 e 1580, de acordo com Rossi, está presente a defesa do valor dos procedimentos dos artesãos, técnicos e engenheiros para o progresso do saber, incitando os homens cultos a abandonarem "seu tradicional desdém pelas operações e pela prática" e "toda concepção meramente retórica ou contemplativa do saber", voltando-se "ao estudo e à observação das técnicas e artes". Os autores daqueles textos achavam que alguns dos procedimentos da técnica, alterando e modificando a natureza "através do trabalho das mãos", favoreciam "o efetivo conhecimento da realidade muito mais do que aquelas construções intelectuais ou aqueles sistemas filosóficos" que terminavam "por impedir ou limitar a exploração ativa das coisas naturais" pelo homem.

Rossi observa que, para Aristóteles, os "operários mecânicos" não estavam incluídos entre os cidadãos, diferenciando-se dos escravos apenas por atenderem várias pessoas, enquanto que os escravos dedicavam-se a apenas uma. Dessa maneira, continua Rossi, a contraposição entre escravos e livres tendia a confluir-se com a contraposição "entre técnica

e ciência, entre um conhecimento dirigido à prática e ao uso, imerso nos objetos materiais e sensíveis, e um conhecimento racional dirigido à busca da verdade".

Num dos escritos citados por Rossi, a verdadeira filosofia era identificada com a arte de observar a natureza, que devia proceder de forma cuidadosa, ordenando os fatos naturais. Noutro escrito, Robert Norman, marinheiro inglês que veio a se dedicar à fabricação e comercialização de bússolas, expunha os resultados de suas reflexões e experimentos sobre o magnetismo e a inclinação da agulha magnética -- que Norman designava como "*estranha e nova propriedade da inclinação*". Seus escritos baseavam numa série de observações sobre o ímã e a inclinação, e Norman deixava claro que suas pesquisas eram voltadas para as coisas, e não para as palavras, como faziam os homens livrescos.

Um filósofo da época, Juan Luis Vives, afirmava que os camponeses e os artesãos conhecem a realidade muito melhor do que os filósofos, por operarem "*na natureza e sobre a natureza*, sem construírem para si uma série de entidades imaginárias, ao contrário dos filósofos, os quais, por ignorarem a natureza, são propensos a coisas abstrusas e sonhos extravagantes, a que costumam chamar de metafísica".

Andrea Vesalio também defendia a convergência da teoria e da observação direta na medicina. Para ele, a progressiva separação entre técnica e ciência, entre trabalho manual e elaboração de teorias científicas, conduziu a uma degeneração da teoria, a um rebaixamento do nível da doutrina. Isto iniciou-se, segundo Vesalio, quando os doutores começaram a desprezar os trabalhos manuais, passando a confiar aos escravos os cuidados dispensados aos doentes, e limitando-se a supervisionar esses trabalhos: a preparação dos alimentos, a dosagem dos remédios, as operações manuais. Com o tempo, os doutores limitavam-se, conforme Vesalio, à "*prescrição dos remédios e dietas para obscuras doenças*", abandonando "*o resto da medicina aos que chamavam cirurgiões e consideravam apenas escravos*". Com isso, foram se afastando da "*investigação da natureza*", perdendo

rapidamente "o verdadeiro conhecimento das vísceras" e acabando com a "prática anatômica". A divisão na medicina chegou ao absurdo de conter, de um lado, doutores que haviam aprendido tudo nos livros, mas sem nunca ter conhecido os fatos neles contidos, por meio de suas próprias mãos, e de outro lado, aqueles que estavam incumbidos das tarefas manuais na medicina, que "eram ignorantes demais para ler os escritos dos mestres da anatomia".

* *

Rossi observa que nos séculos XV e XVI há uma profusão de obras de caráter técnico, que foram decisivas para o *contato entre saber científico e saber técnico-artesanal, para a colaboração entre ciência e indústria*. Eram obras sobre máquinas de guerra, arquitetura, fortificação, balística, engenharia mineral, navegação, etc. Há um interesse em absorver e superar os conhecimentos expressos nas obras matemáticas e técnicas da Antiguidade clássica. Naquela época, talvez mais do que qualquer outra antes, observa Rossi, ocorreu uma *"fusão entre atividades técnicas e científicas"*, entre *"trabalho manual e teoria"*; dos ateliês que, sendo ao mesmo tempo oficinas, *"transformavam-se em verdadeiros laboratórios industriais"*, nos quais se formavam pintores e escultores, engenheiros e técnicos. Nesses locais, *"ao lado da pintura e da escultura, ensinavam-se rudimentos de anatomia e óptica, cálculo, perspectiva e geometria, projetavam-se a construção de arcos e a escavação de canais"*. Esta revalorização das artes mecânicas *"possibilitou a colaboração entre cientistas e técnicos e a interpenetração de técnica e ciência que estão na base da grande revolução científica do século XVII"*. Os engenheiros viriam a ter um papel destacado na direção do movimento científico. Na ciência, as *"pesquisas experimentais"* não mais serviriam apenas para ilustração; o método científico não seria mais um fim em si mesmo, a utilidade passaria a ter valor; a *"prova da prática"* também viria a ser decisiva para a elaboração de teorias mais gerais.

Para Rossi, são justamente esses aspectos que atribuem um caráter verdadeiramente revolucionário à ciência moderna, em relação à ciência medieval. Com isso ele não pretende endossar a imagem das trevas medievais, que teriam sido dissipadas no Renascimento. Pelo contrário, ele reconhece a existência de elementos de continuidade entre a ciência medieval e a moderna. Reconhece ainda que a inventividade e a observação estiveram fortemente presentes na Idade Média -- basta lembrar as basílicas românicas ou as catedrais góticas, a atrelagem de cavalos, a ferradura, o estribo, o moinho a água e a vento, a plaina, a dobadoura, a bússola, a pólvora, as lentes, os relógios mecânicos, a balança. No entanto os artesãos iletrados provavelmente foram os responsáveis pela maior parte dos progressos técnicos da Idade Média, já que os físicos medievais nunca expunham seus métodos à prova da prática, por melhores que eles pudessem ser.

Na Idade Média, o progresso da técnica dependeu sobretudo dos resultados, experiências, sucessos e fracassos da própria técnica; ela apoiava-se apenas nas habilidades e ações dos técnicos. Através de meios não raro rudimentares, porém, foi por vezes possível chegar a resultados superiores aos da técnica científica, pelo menos nos estágios iniciais desta última.

Rossi acredita que, na Idade Média, ciência e técnica medievais estão mais separadas do que em colaboração. A técnica medieval, para ele, se constitui como "um conjunto de regras, receitas e preceitos", e que "a 'teoria', entendida como uma tentativa de deduzir os preceitos a partir dos princípios gerais e de fundá-los sobre um conjunto de fatos verificáveis, está totalmente ausente". Embora os textos técnicos medievais tragam instruções amplas e detalhadas sobre o trabalho técnico, embora mostrem o que pode ser feito e como, não trazem nenhuma tentativa de explicar porque devem ser feitas desta ou daquela maneira, nem se preocupam em fornecer uma série de conceitos gerais que possibilitem o tratamento de problemas não previstos. No Renascimento, porém, uma teoria da arquitetura era justamente o

que propunha Leon Battista Alberti, apoiando-se em Vitruvio, mas com alterações, ampliações ou mesmo correções. Para isso, a partir de princípios gerais, baseados em propriedades tais como finalidade prática, conveniência, ordem, simetria e aspecto visual, Alberti extrai seus preceitos arquitetônicos. Ele distingue diferentes setores da arquitetura para reuni-los num único conjunto, formando um sistema absorvente e coerente. Ele pensava confirmar suas afirmações por meio de raciocínios dedutivos e de provas históricas.

Na construção da cúpula de Santa Maria del Fiore, 1420 a 1436, Brunellschi dispensou utilização de cimbres, os quais, além de servirem de molde e de sustentação provisória, serviam também de moldura e de andaime. Brunelleschi compreendeu, antes de realizá-la efetivamente, que a construção da cúpula podia ser executada dispensando-se a utilização dos cimbres. Para isso seria preciso, além de possuir uma *habilidade artesanal* extraordinária, "planejar a obra através de uma visão abstrata das formas". Para tanto, *procedimentos empíricos convencionais* tinham de ser abandonados, devendo a posição *exata* na qual cada elemento deveria estar colocada ser determinada através de um *cálculo abstrato*. Para Franscatel, a arquitetura de Brunelleschi passa do "tecnicismo empírico" para o da especulação matemática. Rossi cita também uma minuciosa análise de John F. Fichten a respeito dos procedimentos dos construtores das catedrais góticas, confirmando as mesmas conclusões de que eles moviam-se sempre no plano da prática e de um empirismo artesanal.²

² É interessante observar o trabalho de R. Mark e R. S. Jonash [45], acerca das cargas de vento nas estruturas góticas. Apoiados numa série de estudos anteriores, além dos realizados por eles próprios, os autores procuram chegar a algumas conclusões a respeito da controvérsia acerca da necessidade estrutural dos elementos da arquitetura gótica.

Mark e Jonash utilizaram recursos teóricos e experimentais disponíveis atualmente, a fim de avaliarem as estruturas góticas.

Por outro lado, sabe-se que muitos problemas práticos, como o da velocidade dos navios, da construção de canais, da balística, da fabricação de bombas, da ventilação das minas, etc,

Embora os resultados, segundo eles afirmam, não possam ser considerados perfeitos e definitivos -- mesmo os recursos atuais são ainda insuficientes para que se possa fazer uma análise absolutamente definitiva das estruturas góticas -- foi possível chegar a algumas conclusões.

Mark e Jonash declaram seu profundo respeito e admiração pela engenhosidade dos arquitetos góticos. A catedral de Amiens, por exemplo, foi concluída trezentos anos antes da publicação das *Duas Novas Ciências*, na qual Galileu ainda não conseguiu descrever corretamente nem mesmo a distribuição de esforços de flexão numa viga simples, que constitui um dos casos mais elementares da resistência dos materiais. Portanto, os construtores medievais não dispunham de teorias capazes de prever com rigor e precisão o comportamento estrutural. Os autores imaginam que os construtores tenham empreendido alguma forma rudimentar de análise durante a própria construção, fazendo alterações a fim de anular os esforços de tração que fossem se manifestando sob a forma de fraturas na argamassa, de modo que estas alterações acabavam por definir a forma final do projeto.

Os autores afirmam que, se a solução para o suporte da nave da Catedral de Amiens, se não for a mais eficiente para estruturas não armadas, está bem próxima disto. Praticamente inexistente tração na estrutura -- há tração nas extremidades dos arcobotantes, mas somente sob condições de vento extremas.

O trabalho de Mark e Jonash aponta portanto para a mesma direção indicada por Rossi acerca dos técnicos medievais. Ou seja, que aqueles técnicos contavam muito pouco com o auxílio de teorias, movendo-se sempre no nível de um empirismo prático, restando para a teoria um espaço muito pequeno, senão inexistente, em comparação à complexidade, poder e eficiência dos procedimentos empíricos utilizados pelos técnicos medievais.

passaram a ter grande importância no nascimento e desenvolvimento de muitas pesquisas teóricas -- como na hidrostática, na hidrodinâmica, na astronomia, na dinâmica, na cronometria. Eram particularmente significativas eram as relações do matemática e da astronomia com a navegação.

William Gilbert, em *De Magnete* (1600), demonstra amplo conhecimento da obra dos "artesãos superiores" de seu tempo, e utiliza-se desses conhecimentos -- magnetismo, extração, fusão e trabalho do ferro, navegação e instrumentos náuticos. Gilbert utiliza-se especialmente dos estudos e observações de Robert Norman e do trabalho de William Borough, sobre magnetismo. Ampliava-se a conscientização, por parte de diversos homens cultos, do valor, importância e perspicácia contidos nos trabalhos dos habilidosos, sensíveis e experimentados empíricos e práticos, por mais que fossem privados de instruções livrescas.

Levando em conta esse contexto, Rossi destaca uma grande contribuição para o amadurecimento da idéia, fundamental na ciência, de que uma teoria precisa ser de algum modo "aplicada aos fatos", para que possa ser considerada certa ou verificada. Esta contribuição para o conceito de verificação está justamente na "consciência adquirida sobre os pressupostos metodológicos do trabalho técnico", e no "reconhecimento de que as artes mecânicas apresentam um interesse real para o desenvolvimento da ciência".

Trata-se também do reconhecimento da distância existente entre a estrutura conceitual ou arcabouço teórico das ciências "e sua capacidade de servir concretamente a usos humanos, explicando os fatos novos". Naqueles séculos, fala-se com grande insistência de uma *lógica da invenção*, concebida como esforço de busca e exploração de campos novos e desconhecidos, como o da arte, do instrumento, ou da ferramenta. Esta *lógica da invenção* tinha pouco interesse na análise dos termos do discurso, mantendo quase sempre um tom rude e ingênuo, em comparação com "as sutis discussões da escolástica tardia". Mas ao contrário daquela escolástica, a *lógica da invenção* preocupava-se sobretudo com a criação de novos métodos e com a ampliação do domínio do

homem.

* *

Rossi observa porém que, ainda nos escritos técnicos do final do século XVI, de maneira alguma existia uma plena consciência da transformação radical que aquele grande desenvolvimento do saber técnico produziu também no campo da filosofia e da cultura -- ainda que esta problemática não fosse ignorada.

Um exemplo disto é a *Pirotechnia* (1540), de Biringuccio, primeiro livro publicado sobre metalurgia. Biringuccio chega a discutir explicitamente a função da pesquisa de novos fatos na ampliação do saber: as "notícias novas" deveriam conduzir a novas invenções e a uma progresiva ampliação do conhecimento fatural. Biringuccio procurava ser *descritivo*, com máxima fidelidade. Ele criticava os procedimentos dos alquimistas por não constituírem técnicas e nem serem codificáveis; por não incluírem nenhuma pesquisa séria e paciente sobre os meios necessários para se chegar aos resultados práticos desejados; por nunca buscarem explicações racionais e resultados controláveis; em suma, por nunca demonstrarem os efeitos que afirmam conseguir, recorrendo em vez disto a testemunhos pessoais e a autoridades duvidosas e utilizando uma retórica vazia, sem conhecimento efetivo do tema tratado. Biringuccio, portanto, percebia com muita pertinência e perspicácia as diferenças entre os procedimentos mágicos e os procedimentos técnicos. No entanto, sua crítica aos alquimistas não estava ligada àquele conceito moderno da identidade entre a arte e a natureza, presente em Bacon e Descartes, o qual permite acreditar na transformação da natureza com base no conhecimento de seu comportamento e de suas leis. Sem este conceito, a crítica de Biringuccio à alquimia estava ligada, ao contrário, a sua convicção, de origem medieval, de que a arte é muito inferior à natureza, que ela é frágil diante da natureza, podendo apenas imitá-la, mas mal e pobremente, "por caminhos exteriores e superficiais".

Outro exemplo pode ser encontrado em Georg Bauer Agricola, que publicou os dois primeiros tratados sistemáticos de geologia e mineralogia, além de sua célebre *De re metallica* (1556). Agricola, tinha a convicção de que a modificação e aperfeiçoamento de um certo campo do saber exigia um vasto trabalho de "*observação e descrição dos dados de fato*", uma descrição sistemática, analítica, meticulosa. Com isto, Agricola pretendia desqualificar as coletâneas de coisas maravilhosas, secretas, raras, curiosas, fantásticas -- coleções de animais, plantas, metais, pedras -- tão comuns na literatura medieval, onde um caráter totalmente assistemático e inorgânico daquele dava àquelas coletâneas "um tom característico de fábulas". Colocando-se contra aquele tipo de literatura, Agricola pretendia voltar-se para a natureza, elaborando para isso técnicas descritivas transmissíveis, e questionando a tradição de um saber que relegava a *observação sistemática* a um plano marginal ou secundário.

Agricola exigia relatos fidedignos da realidade natural. Sua postura pode ser ilustrada observando-se suas classificações lúcidas e precisas, que atestavam sua contato direto e sua experiência pessoal com aquilo de que tratava. Sua crítica não poupava a alquimia, que prometia muito mais do que podia cumprir. A crítica maior estava voltada contra a *linguagem e a terminologia deliberadamente obscuras e arbitrarias utilizadas na alquimia*; ele reclamava da linguagem imprecisa e subjetiva dos alquimistas e da intransmissibilidade daquele tipo de saber. Agricola rejeita também a utilização da pesquisa para causar admiração e assombro, ou para a obtenção de glória pessoal. Nestes aspectos, sua ruptura com certas posturas da alquimia é total e definitiva. Seu ataque é dirigido contra o *discurso mágico*, contra a idéia, a qual permeia o pensamento alquímico, de que a comunicação das verdades só ocorre por vias miraculosas e extraordinárias, elacionado com o caráter secreto da linguagem alquímica.

Para Rossi, ao insistir na *necessidade, para o saber*

técnico, de exatidão e de transmissibilidade, Agricola está postulando ao mesmo tempo alguns dos traços que virão a caracterizar a pesquisa científica. Embora Agricola não tenha plena consciência da nova pesquisa científica, ele indiretamente a defende, postulando alguns de seus traços mais característicos. Rossi lembra que a tradição alquímica ainda estará significativamente presente no Renascimento, mesmo em "filósofos" como Agrippa, Patrizzi, Paracelso, Cardano, Della Porta, ou mesmo entre aqueles que tratavam de temas estritamente técnicos. Nesse aspecto, Agricola antecipou-se, assumindo posições muito mais avançadas do que seria comum ainda em pleno Renascimento.

Agricola nega também que a arte possa ser fruto do acaso ou do destino, de um trabalho manual isento de qualquer pretensão à cientificidade, requerendo fadiga, habilidade e talento, mas muito pouco saber.

Apesar disso, de acordo com Rossi, não é possível encontrar em Agricola a consciência de um novo método e de suas implicações, capazes inclusive de modificar a "sistematização teórica de determinadas ciências".

Outro da relação entre a arte e a natureza aparece também em Giobaldo del Monte, para a quem a arte é capaz de coisas extraordinárias e maravilhosas, conseguindo, com a astúcia da inteligência e do trabalho, dominar e enganar a natureza, realizando espécies de "milagres". Para Giobaldo, as realizações da arte não pertenciam exatamente à ordem natural das coisas. Do mesmo modo, Filippo Pigafetta afirma que a mecânica obriga os corpos a realizarem movimentos contrários à sua natureza. No entanto, apesar de suas conceberem a arte como algo artificial e fora da natureza, Giobaldo e Pigafetta não deixam de valorizar as artes mecânicas, vendo-as como aliadas da filosofia, ressaltando a união entre a mecânica e a matemática.

Daniele Barbaro, também pretende que haja uma união entre o "discurso" e a "prática". Mas em Barbaro esta união adquire um sentido diferente daquele proposto por Giobaldo Ramelli. Barbaro valorizava a matemática, e queria introduzi-la

também na técnica; para ele a matemática fornecia a garantia de cientificidade de um ramo do saber. Ao contrário do que acontecia em Giulio Baldo ou Ramelli, a maneira pela qual Barbaro valorizava a matemática nos diferentes ramos do saber terminava reintroduzindo a distinção entre ciência e arte -- embora o próprio Barbaro tenha tentado, a princípio, aproximá-las, procurando unir o "discurso" às "razões" da "prática" e à "presteza da mão".

Barbaro apenas restaura a concepção da superioridade da ciência e da indignidade do trabalho manual dentro de um quadro modificado. Ele louva a "força da proporção", a "divina força dos números", a conveniência dos números e das medidas, que regem o mundo e regulam "o tempo, o espaço, os movimentos, as virtudes, a linguagem, o artifício, a natureza, o saber". Este platonismo de Barbaro acaba por destruir a imagem de uma síntese entre especulação e manufatura, entre discurso e prática. Ou seja, o que era nobre e grandioso nas artes mecânicas eram apenas suas partes que continham a matemática, a geometria, o "discurso" ou a "especulação"; o restante é "vil e abjeto", mero trabalho das mãos, resultado de simples imaginação, ou falaz conjectura que não passa de alguma experiência abandonada.

A união efetiva entre ciência e técnica -- ou "discurso" e "prática", "especulação" e "manufatura" --, apresentava de fato problemas significativos. O engenheiro Bonaiuto Lorini, mostrava compreender perfeitamente a importância e alcance metodológico destes problemas, ao discutir a relação entre o trabalho do "puro matemático especulativo" e o do "mecânico prático" -- entre a pura especulação matemática e a mecânica prática. Lorini afirmava que as demonstrações e proporções encontradas pelo matemático, "entre as linhas, superfícies e corpos imaginários e separados de matéria, não respondem tão maravilhosamente quando se aplicam às coisas materiais", pois os conceitos do matemático não estão sujeitos aos acidentes, obstáculos e resistência que a matéria impõe ao trabalho da mecânica. O juízo e a habilidade do mecânico estão em sua capacidade de prever e contornar as dificuldades derivadas

das vicissitudes e diversidades da matéria com a qual ele trabalha, o que é dificultado pela inexistência de regras seguras acerca do comportamento da matéria com a qual o mecânico é obrigado a lidar. Assim é que, diz Lorini, o matemático puro, ao considerar o movimento de uma roda em torno de seu eixo, imagina esta roda "sem nenhuma gravidade" e ligada "em torno a linhas e pontos indivisíveis". Pois a matéria poderia trazer enormes dificuldades para o movimento da roda, devido a "seu próprio peso desigual"; além disso, os eixos deverão constituir polos "não muito exatos nem concentrados".

Rossi lembra que este problema das relações entre as "imperfeições da matéria" e as "puríssimas demonstrações matemáticas" abrirá os *Discursos Sobre as Duas Novas Ciências* de Galileu Galilei.³

4.1.2 - A idéia de progresso científico

Rossi analisa o surgimento, entre meados do século XVI e meados do século XVII, da concepção de ciência que, típico produto da civilização ocidental, persiste basicamente até a atualidade. Nesta concepção, a ciência é vista como uma construção lenta e sem fim, para a qual os indivíduos podem contribuir com seu próprio esforço e trabalho, na medida de suas possibilidades; a colaboração e cooperação são consideradas essenciais para o progresso da ciência, a qual também deve ter um caráter sistemático. O desenvolvimento da ciência devia ainda manter uma única tradição, de modo que mesmo os avanços mais dramáticos preservassem ao menos a essência do estágio antecedente, evitando desembocar num conjunto de teorias contrapostas e irreconciliáveis.

* *

³ Na verdade, estas são considerações acerca das dificuldades que o emprego da idealização e abstração representam para a aplicação prática (capítulos V e VI).

Mas é nos textos dos "artesãos superiores" e dos "engenheiros" do século XVI, de acordo com Rossi, que aparecem as primeiras e rudimentares formulações daquele novo conceito de ciência e de seu progresso. Ao contrário do monge ou do humanista, o técnico trabalha em conjunto com outros técnicos. Nos seus locais de trabalho, os técnicos colaboram entre si, aperfeiçoando sua arte num processo que prolonga-se no tempo.

* *

Rossi entende que toda a obra de Francis Bacon estava voltada para a substituição de uma cultura retórico-literária por uma técnico-científica, com a consciência de que isto implicaria numa ruptura com a tradição. Para Bacon, a filosofia clássica pressupõe a superioridade da contemplação sobre as obras, a preferência pela resignação diante da natureza em vez do desejo de conquistá-la, a prioridade da reflexão da interioridade no lugar da pesquisa sobre os fatos e as coisas. Bacon rejeita este tipo de cultura e de discurso filológico, procurando definir novas tarefas, fins e métodos para a filosofia. E as grandes transformações pretendidas por Bacon não se restringem à filosofia: ele pretende uma transformação histórica e acredita que a cultura é atingida por uma série de fatores materiais -- as invenções, o reflorescimento das artes mecânicas, as descobertas geográficas, as viagens de exploração, as novas condições políticas na Europa. Para Bacon, as três grandes invenções -- a bússola, a imprensa e a pólvora -- modificaram a história com uma fertilidade inédita. De acordo com Rossi, o protesto de Bacon contra a "esterilidade" da cultura tradicional funda-se "justamente na contraposição entre artes mecânicas e filosofia, entre a progressividade, característica do saber técnico-científico, e a imobilidade típica dos exercícios dialéticos das escolas e dos exercícios retóricos do humanismo". Bacon queixa-se do pouco progresso das ciências nos dois mil anos precedentes, em contraposição ao florescimento das artes mecânicas, fundado na

natureza e na experiência.

Bacon atribui a progressividade, característica das artes mecânicas e do saber técnico, à cooperatividade, à colaboração de muitos indivíduos para um mesmo fim. Nas artes e ciências liberais, ao contrário, não existiria colaboração, mas sim o predomínio de um indivíduo sobre os demais, que assim ficariam tolhidos de sua liberdade. Isto explicaria, de acordo com Bacon, porque as obras dos clássicos tornam-se opacas ou degeneram-se com o passar do tempo, quando o brilho do mestre vai ficando distante -- enquanto que as artes mecânicas progrediriam no tempo. É por isso que Bacon prefere o *inventor* ao *mestre*, aquele que acrescenta sua contribuição ao trabalho dos que o precederam do que o sábio iluminado.

Bacon utiliza ainda a progressividade e a colaboração -- que deveriam caracterizar todo campo do saber (exceto a poesia) -- como critério de diferenciação da ciência e da técnica de qualquer saber do tipo "mágico". Quando Bacon afirma que no método científico importa mais o método que o indivíduo, ele não está, segundo Rossi, defendendo um método mecânico capaz de gerar resultados automaticamente; o que Bacon pretendia era contrapor-se ao caráter de excepcionalidade da pesquisa mágico-alquímica, opondo-se, como fizera Agricola, à utilização de procedimentos secretos, atribuídos a capacidades individuais extraordinárias.

Do ponto de vista baconiano, os filósofos antigos, especialmente os aristotélicos, construíram uma filosofia da natureza "a partir da insuficiência de seus instrumentos de controle e domínio" (da natureza). A posição dos antigos significa, nas palavras de Rossi, "*a transformação da própria insuficiência técnica em ontologia*". Para Bacon, ao contrário, seria possível, com modéstia, moderação e equilíbrio, *a partir "de experimentos e demonstrações oferecidas pelas novas máquinas"*, ir bem além do que os antigos julgavam ser possível. Por isso Bacon disse, diferentemente dos antigos, que afirmavam "que o raio não pode ser imitado, que, pelo contrário, é possível

imitar o raio". Para Bacon, ainda, os modernos estão numa situação mais favorável justamente porque, através de uma infinidade de experimentos e observações, puderam enriquecer os conhecimentos e conquistas dos antigos. Bacon convida cada homem a participar do esforço voltado para a continuação deste processo de enriquecimento que não deveria parar.

Bacon atribui um valor universal a algumas características típicas do saber técnico: a colaboração, a progressividade, a perfectibilidade e a invenção. E adota as artes mecânicas como *"modelo para a cultura"*, fundado na progressividade e na intersubjetividade que caracterizam, ao menos parcialmente, o trabalho dos técnicos. Bacon propõe uma nova cultura, na qual a obra dos mecânicos e dos empíricos estará unida à dos filósofos. Desta maneira, nas palavras de Bacon, também estará superada aquela *"mecânica meramente empírica e operativa"*, *"separada da física"*, entregue apenas *"à paciência dos homens e ao trabalho sutil e ordenado das mãos e dos instrumentos"*. Ainda nas palavras de Bacon, *"a filosofia dos empíricos leva a resultados e opiniões ainda mais monstruosos do que os da filosofia sofística ou racional"*. Para Bacon, é da união dos *"empíricos"* e dos *"racionais"* que nasce a verdadeira filosofia. É bem conhecida a passagem da comparação entre as formigas, as aranhas e as abelhas⁴. Quando Bacon se refere aos *"puros empíricos que se limitam a recolher dados"*, está referindo-se justamente às artes mecânicas; diz Bacon: *"a verdadeira filosofia não guarda intacta na memória o material*

⁴ Na linguagem figurada de Bacon, as formigas apenas recolhem os materiais, sem transformá-los e sem um critério seletivo; as aranhas tecem suas teias maravilhosas e extremamente complexas a partir de sua própria substância, extraída de seu interior, alheias ou indiferentes ao que está ao seu redor; somente as abelhas recolhem os materiais do exterior e os digerem, modificando-os para seu próprio uso, procedendo sempre de uma maneira sistemática.

fornecido pela história natural e pelas artes mecânicas, mas conserva-o transformado e digerido no intelecto". Bacon afirma que, no progresso das artes mecânicas, o qual é lento, o acaso é um útil autor de descobertas; o acaso, as "observações grosseiras", segue porém "por vias oblíquas e retorcidas", devendo por isso ser substituído pela colaboração entre ciência e técnica. A transformação da realidade não pode ser confiada a uma estratégia fugaz, mas sim à razão que opera com o auxílio dos instrumentos.

* *

As primeiras academias científicas modernas -- Academia del Cimento (1657), Royal Society (1662), Académie des Sciences (1666) -- tinham, de acordo com Rossi, um objetivo comum: "o avanço e progresso das ciência e das artes através da colaboração".

As características e finalidades das *Philosophical Transactions*, da Royal Society, eram, de acordo com o prefácio a sua primeira edição, fomentar a busca de "um conhecimento sólido e útil", encorajando a procurar, experimentar, encontrar coisas novas", transmitir publicamente esses conhecimentos e assim contribuir para o progresso da ciência da natureza. O ideal da progressividade foi resumido por Pascal: "o sujeito cognoscitivo não é o indivíduo isolado, mas toda a humanidade, que progride no tempo".

4.1.3 - Filosofia e técnica no século XVII

Rossi observa que a defesa das artes mecânicas e o ataque ao saber oculto estavam presentes nas obras daqueles que demonstravam grande com o sistema teórico-conceitual da ciência e com "a tentativa de incluir os fenômenos naturais num 'esquema de conceitos racionais'". Dentre estes, Descartes é o mais notável.

Descartes, abandonou completamente a antiga condenação às artes mecânicas. Nas *Regulae*, Descartes afirma que o método

"imita aquelas artes que não necessitam de ajuda de outras, mas dizem elas mesmas como se devem fabricar seus instrumentos". Descartes refere-se também às artes mecânicas e aos "ofícios de nossos artesãos", na sexta parte do *Discurso do Método*, onde ele previa "a invenção de uma infinidade de artifícios, os quais permitiriam gozar, sem pena alguma, os frutos da terra e todas as comodidades que aí se encontram". Nesta mesma obra, Descartes defendia enrgicamente uma tese baconiana, a de uma "filosofia prática" capaz de tornar o homem "como que senhor e possuidor da natureza". Ele dizia, a respeito das noções gerais da física, que elas fizeram-no ver "que é possível chegar a conhecimentos que sejam utilíssimos à vida e que, em vez dessa filosofia especulativa que se ensina nas escolas, pode-se encontrar uma prática pela qual, conhecendo-se a força e as ações do fogo, da água, do ar, dos astros, dos céus e de todos os outros corpos que nos circundam, tão diversamente quanto conhecemos os diversos ofícios de nossos artesãos, poderemos empregá-los da mesma maneira em que todos os usos a que são adequados e, desse modo, tornamo-nos como que senhores e possuidores da natureza".

Descartes também recusava aqueles recursos extraordinários dos magos, naturalistas ou alquimistas, os quais pregavam a solidão, o sigilo, a intransmissibilidade do conhecimento. Esta recusa era resultado de sua defesa do caráter público dos resultados como uma característica obrigatório do saber científico.

Porém, observa Rossi, o ideal cartesiano não era bem o da companhia dos sábios. Mais tarde Leibniz -- a esse respeito "baconiano" -- desaprovará o que ele qualifica em Descartes como "a vaidade de ser solipsista". De acordo com Rossi, Descartes substituiu "a imagem de uma humanidade solidária como o verdadeiro sujeito cognitivo" pela "figura do gênio individual, capaz de por tudo abaixo e tudo reconstruir seguindo a ordem das razões". Na mesma sexta parte do *Discurso do Método*, observa Rossi, Descartes acaba esvaziando sua própria afirmação de que o conhecimento funda-se na colaboração e na publicidade. O apelo

para a contribuição de muitos, que seria muito preferível ao esforço isolado de cada um, era na verdade "o apelo de um mestre a seus discípulos" ou, na linguagem cartesiana, de um capitão a seus soldados. Descartes conclama os que desejam o bem da humanidade a lhe comunicarem os resultados das experiências que eventualmente tenham realizado, e também a lhe ajudarem a realizar as pesquisas que lhe faltam. Este pedido, segundo Rossi, não resulta da confiança na superioridade da colaboração sobre a reflexão solitária; ao contrário, Descartes está seguro da excelência de sua meditação. Diz Descartes: "embora eu me reconheça extremamente sujeito a falhar, a experiência que tenho das objeções que me podem levantar impedem-me de esperar delas algum proveito; [...] raramente ocorreu que me fosse objetado algo que eu não tivesse absolutamente previsto". A pesquisa individual solitária só é insuficiente pelo fato de ser necessário realizar uma infinidade de experiências, impossíveis de serem feitas -- e financiadas -- por uma única pessoa. Para Rossi, Descartes rejeita energicamente aquele ideal da "mescla dos engenhos", defendido por Bacon e retomado por Leibniz, afastando a própria idéia de colaboração intelectual, como mostram estas suas palavras: "se há no mundo alguma obra que não pode ser tão bem realizada por nenhum outro a não ser pelo mesmo que a iniciou, é aquela em que trabalho". Descartes dispensa a ajuda de outras inteligências; a ajuda de voluntários apenas o faria perder tempo, pois em troca da ajuda os voluntários desejariam saber explicações de alguns problemas, receber elogios ou estabelecer conversações inúteis. Por isso Descartes preferia a ajuda na forma de financiamento, para que outros realizassem as experiências sob suas ordens, pois assim estes colaboradores nada poderiam exigir além do pagamento. Descartes desejava apenas ficar livre de qualquer preocupação econômica e de qualquer desperdício de tempo.

Rossi lembra, em contraste, as palavras de Bacon: "Na verdade, ponho em movimento uma realidade que outros experimentarão [...] não sou um caçador de glória nem tenho

desejo de fundar uma seita como fazem os heresiarcas. [...] pedimos que os homens participem pessoalmente dos esforços que ainda faltam realizar".

Por isso, Rossi vê com certos limites a tese de que, na obra de Descartes, a progressividade do saber aparece ligada à colaboração entre os pesquisadores, como pretendem os defensores do "humanismo" cartesiano. É só a *brevidade da vida e a falta de experiências* que levam Descartes a pedir a colaboração, na qual cada um contribua, na medida de seu alcance, para a realização das experiências necessárias, convidando a cada um que também comunique a todos os resultados de suas pesquisas, de modo que, começando uns onde outros terminaram, fosse possível avançar além do que poderia cada um isoladamente, e a vida e o trabalho de muitos seriam assim unidos.

Por outro lado, Rossi observa que *"o ideal rigidamente dedutivo da ciência cartesiana e a tentativa de Descartes de fundar solidamente a física na metafísica não deixavam de ter efeito sobre a própria formulação do conceito de progressividade do saber"*. Nos *Principia*, a progressividade do saber é entendida não como a sucessão de "descobertas" de novas verdades, e sim como dedução e "passagem" de princípios válidos universalmente para outras verdades extraídas ou deduzidas destes princípios universais.

Bacon havia enfatizado a presença do "espírito vital" nas artes mecânicas e o fato de que elas se aperfeiçoam no tempo -- nas palavras de Bacon, o tempo é "o autor dos autores e o pai da verdade". De maneira polêmica, Bacon contrapôs as artes mecânicas, que ele considerava apoiada na natureza e na experiência, e fruto da cooperação de muitos, e por isso capazes de progredir, à esterilidade da filosofia e das ciências intelectuais, que eram vistas como "estátuas" perfeitas.

A posição de Descartes é diferente, distanciando-se das intenções que teve Bacon e que terá Leibniz. Rossi volta-se novamente para os *Principia*, onde Descartes afirma que todas as artes, mesmo se rudimentares e imperfeitas, aperfeiçoam-se no

tempo se contém algo de verdadeiro, e que os resultados da experiência se encarregarão de mostrar este núcleo de verdade. Portanto, ao contrário de Bacon, a ênfase de Descartes recai sobre o núcleo de verdade presente nas artes, núcleo este que seria o responsável pelo aperfeiçoamento dessas, artes mesmo quando elas são toscas e imperfeitas na sua origem. Da mesma forma, segundo Descartes, na filosofia, quando se dispõem de princípios verdadeiros, é impossível não encontrar outras verdades ao seguirem-se estes princípios. É assim que Descartes conclui serem falsos os princípios de Aristóteles, já que por meio deles não foi possível chegar a nenhum progresso ao longo de tantos séculos.

Para Rossi, ao aproximar as "artes" da "filosofia", colocando-as num mesmo plano em nome do ideal de um saber dedutivo, Descartes estava na verdade destituindo de sentido a contraposição e a polémica baconianas. Para Descartes, a esterilidade do aristotelismo decorria da falsidade dos seus princípios. A afirmação de Pascal, de que era possível afirmar o contrário do que diziam os antigos sem com isso contradizê-los, não tem sentido para Descartes, nem tampouco teria sentido um diagnóstico histórico dos limites e insuficiências das filosofias do passado a partir dos limites que caracterizam uma civilização. Para Rossi, ao rejeitar "a contraposição entre as artes mecânicas e a filosofia, Descartes também esvaziava de sentido aquela idéia de progresso que se alimentara essencialmente dessa contraposição".

* *

Rossi conta que, no final de sua vida, Descartes elaborou o projeto uma grande escola de artes e ofícios, cuja finalidade seria a de estabelecer entre os trabalhos dos cientistas e dos técnicos e artesãos contatos efetivos. A escola estaria provida de todos os instrumentos mecânicos que lhe fossem necessários, e ali seriam realizadas experiências. Haveria um professor ou mestre para cada arte ensinada, e esses

professores deveriam ser especialistas em matemática e física, para que assim estivessem capacitados a responder a todas as perguntas dos artesãos e pudessem explicar-lhes todas as coisas, a fim de que os artesãos pudessem fazer novas descobertas em suas artes. *A técnica em si mesma, para Descartes, não traz qualquer contribuição para o progresso da ciência, que depende apenas da obra dos teóricos.*

Mersenne e Gassendi porém, observa Rossi, *"rejeitam como dogmática a grandiosa tentativa cartesiana de uma física demonstrativa fundada em princípios universais"*. Eles têm, na opinião de Rossi, uma consciência muito mais aguda de que a *"verdadeira física"* está ligada intimamente ligada às invenções dos técnicos e engenheiros. Para Mersenne, a nova ciência constitui-se e caracteriza-se pelo conhecimento descritivo dos fenômenos e pela prática ds artes mecânicas. Mersenne queria que se deixasse de lado as discussões sobre as essências, sobre a matéria e a forma, sobre os átomos e a matéria sutil; para ele, estas discussões pertenciam ao reino das especulações inverificáveis. Contrariando os antigos, Mersenne defendia a dignidade das artes e enfatizava o valor das aplicações práticas da ciência; ele recusava o preconceito platônico contra o sensível e o mecânico na ciência, rejeitava a ciência que fosse apenas contemplativa e teórica; ao contrário, ele queria uma ciência e uma arte práticas. Para Mersenne, ao ser capaz de construir, ao criar a estática, a hidráulica, a pneumática, os homens aproximam-se de Deus, conseguindo imitar as mais admiráveis obras divinas.

Gassendi, por sua vez, contrapunha o conhecimento dos empíricos e artesãos ao saber estéril dos dialéticos e à pseudo-ciência dos metafísicos. Ele queria conhecer a história das pedras, metais minearis, animais, etc, das quais tratam os canteiros, os ourives, os herboristas, os caçadores, mas com as quais os filósofos não têm a mínima consideração, por acharem essas coisas vulgares em demasia, vangloriando-se de reservarem para si as coisas propriamente filosóficas. Gassendi não concorda

com que aqueles temas sejam excluídos da filosofia, nem tem em boa conta discussões ferozes em torno, por exemplo, da forma da corporeidade ou do tipo de propriedades da forma do cadáver.

De acordo com Rossi, o que Gassendi realmente pretendia era o estabelecimento de *"uma nova convergência entre o saber dos empíricos e o dos filósofos"*, atribuindo à razão a nova tarefa de um conhecimento "histórico" e fenomenológico da natureza e dos homens. Segundo Rossi, a única forma válida de conhecimento para Gassendi era *"o conhecimento do particular e de sua organização segundo leis quantitativas e mecânicas, a elaboração de hipótese prováveis"*. Gassendi rejeitava uma ciência de essências, dedutiva e necessária, pois uma tal ciência correspondia à dialética, instrumento típico da metafísica, que Gassendi pretendia substituir pelo conhecimento útil e pelas artes mecânicas. Um comerciante, um químico, um político, dizia Gassendi, nunca utilizam a dialética, pois, para conhecer a verdade acerca de alguma coisa, é necessário recorrer às artes e ciências que tratam efetivamente daquela coisa, e não à dialética. Gassendi afirma que cada ciência tem uma verdade a ser conhecida, que lhe pertence, possuindo também suas regras específicas, próprias daquele saber.

* *

Mas, de acordo com Rossi, é só com Galileu que, pela primeira vez na história, encontra-se realizada plenamente a convergência entre a tradição das experiências e da prática dos artesãos e técnicos e a *"grande tradição teórica e metodológica da ciência européia"*. Foi obra de Galileu a *"investigação teórica da mecânica prática"* e *"sua transformação em ciência"*, fundindo *"num sólido conjunto de conhecimento teórico"* *"a mecânica empírica e a ciência do movimento"*.

Rossi rejeita a imagem, às vezes ventilada, de um Galileu racionalista, voltado apenas para a matemática pura, indiferente ou mesmo hostil ao saber dos técnicos e dos experimentadores. No início dos *Discursos em torno de uma nova*

ciência, Galileu afirma que a "filosofia" deve considerar o trabalho dos técnicos e exercitar-se na "prática" dos artesãos, reconhecendo explicitamente que, resultado do acúmulo das experiências de gerações, a obra dos artesãos superiores constitui um auxílio à investigação dos "intelectuais especulativos". Estes artesãos superiores, "homens experimentadíssimos e de finíssimo discurso", segundo Galileu, reunindo-se a um grande número de artífices, com os quais constroem continuamente todo tipo de instrumentos e de máquinas, baseados nas observações de seus antecessores e nas suas próprias, são capazes muitas vezes de ajudar o "filósofo" *"na investigação sobre a razão de efeitos não só maravilhosos, mas ainda ocultos e quase inconcebíveis"*.

No entanto, Rossi reconhece que Galileu estabelecia, com extrema consciência, uma diferença entre conhecer a partir de relatos e observações extraídos das experiências repetidas, e conhecer as causas dos efeitos, dispensando com isso o recurso às experiências em cada caso -- a diferença, nos termos de Galileu, entre "saber" e "entender a razão".

Para Galileu, os dados da experiência deviam ser interpretados através dos "modelos teóricos". Ele raciocina a partir de suas hipóteses, demonstrando os "fatos" que devem decorrer de suas suposições; e caso a natureza viesse a exibir comportamentos em desacordo com as conclusões obtidas por esse meio, Galileu diria que todo o seu raciocínio não ficaria de modo algum prejudicado: apenas deixaria de haver nesses casos uma coincidência com os acidentes naturais.

O galileano Torricelli expressaria este ponto de vista com ainda maior clareza. Torricelli dizia fingir e supor que um corpo faz tal e tal movimento. Caso isso ocorresse na natureza, estaria em acordo com o que foi previsto por ele próprio e por Galileu. Mas se uma bola de chumbo ou uma pedra descrevessem um movimento diverso, Torricelli diria ser pior para elas, pois neste caso ele afirmaria simplesmente não estar lhes fazendo referência.

Portanto, afirma Rossi, não se trata de defender a imagem de um Galileu antiplatônico e empirista, nem tampouco de enxergar algum tipo de instrumentalismo onde há a crença absoluta de Galileu na idéia de que *o mundo estrutura-se objetivamente em acordo com as leis da matemática*, de que *o mundo está escrito em caracteres geométricos*. O que Rossi deseja destacar é que nada disso justifica que se considere secundário ou irrelevante o significado do interesse de Galileu no trabalho dos técnicos; nem seu apreço pela observação, pela medida, pelo desenho; sua admiração por Arquimedes; a construção em sua oficina do compasso geométrico-militar e do termobariscópio; sua pesquisa sobre a resistência dos materiais e suas discussões e análises de problemas de edificação de pontes, canalização, elevação de águas, balística, fortificações. O mesmo platônico Galileu é o que procura informações com os navegadores espanhóis, pois para ele as *"histórias"*, as *"coisas sensatas"* são os *princípios sobre os quais se estabelecem as ciências*.

Por isso, a postura de Galileu a respeito da técnica e dos instrumentos possui um significado e alcance revolucionários. De acordo com Rossi, o melhor exemplo disso, e que serve para marcar uma radical alteração na postura do cientista, é a *confiança* que Galileu depositou na luneta, um instrumento criado por artesãos e aperfeiçoado somente "pela prática", de algum uso pelos militares, mas ignorado ou mesmo desprezado pela ciência oficial. Embora Galileu afirmasse, em 1623, ter descoberto a luneta "através do discurso", Rossi considera um fato bem estabelecido que, por volta de 1609, época na qual havia feito aquela descoberta, a preparação de Galileu em ótica era escassa, e que a descoberta havia sido derivada de fato da experiência, não da "matemática".

Para Rossi, é dessa nova postura em relação ao saber técnico-artesanal que deriva a dura oposição de Galileu ao saber de tipo livresco. A física não mais é vista como um setor da filosofia voltada para si própria e para seu método, visto com um fim em si; as pesquisas experimentais não são mais apenas

exemplos isolados de "observações cotidianas", passando a terem efeito sobre as doutrinas gerais. A investigação do movimento e do peso não pode mais dispensar o exame atento e direto dos procedimentos utilizados pelos mecânicos. É por isso que, no século XVII, os historiadores das artes verão em Galileu um dos fundadores da nova "filosofia experimental".

* *

Rossi não tem dúvida de que os limites do método baconiano são resultado de uma avaliação insuficiente da função que os sistemas axiomáticos de caráter dedutivo desempenham na ciência, do papel das hipóteses, das "antecipações da experiência". Ao não compreender a importância da matemática, valorizando mais os "mecânicos" como Agricola que os "teóricos" como Copérnico e Galileu, ao conceber a natureza com "selva" e "labirinto", Bacon estava deixando de incluir em seu pensamento uma concepção de mundo que se mostraria indiscutivelmente mais fecunda para o desenvolvimento da ciência moderna, correspondente à imagem platônica de um mundo estruturado de acordo com a razão e a matemática, um mundo composto de ordem, cálculo e proporção, criado por um Deus geômetra. Para Bacon, a lógica servia apenas para ordenar o material colhido da experiência, era o "fio do labirinto" para ordenar a selva natural.

Para Rossi, faltou à teoria da realidade de Bacon o princípio da simplicidade, economia e inexorabilidade da natureza, o qual estava energeticamente presente em Galileu e em Newton - mesmo tendo sido este último tão profundamente ligado a muitas das posições baconianas. Esta platônica formulação da simplicidade da natureza, a qual Rossi acredita que funcionava "na base de modelos extraídos da tradição da retórica", implicava numa investigação da realidade natural muito distinta da proposta por Bacon.

Por isso Rossi considera inadequado ver Bacon, devido à sua "descoberta do método indutivo", como o "pai da ciência moderna", como queriam os fundadores da Royal Society, os

iluministas da *Enciclopédia*, e vários historiadores e filósofos positivistas do século XIX.

Segundo Rossi, a verdadeira contribuição de Bacon, que o fez "intérprete de algumas das exigências fundamentais da cultura de seu tempo", consistiu na atenção que ele devotou às artes mecânicas, considerando-as capazes de revelar os processos efetivos da natureza, nelas enxergando uma capacidade de produzir invenções e obras inexistente no saber tradicional, e considerando indispensável -- "em polêmica contra a lógica das escolas" -- fazer uma história das técnicas e das artes como pressuposto para uma reforma do conhecimento. As exigências às quais estas teses atendiam vinham se firmando à margem da ciência oficial, no mundo dos técnicos, engenheiros, construtores, através de homens como Biringuccio e Agricola. Estas teses baconianas serão posteriormente retomadas pelos defensores da "filosofia experimental" reunidos em torno da Royal Society, como também pelos cientistas e filósofos como Boyle e Leibniz.

O história da mecânica e das artes devia desempenhar, no projeto baconiano, um papel radicalmente fundamental na filosofia natural. E essa "história mecânica" deveria ultrapassar o desprezo, negligência e censura para com a pesquisa e a observação dos experimentos comuns e familiares, pois que estes experimentos estão entre os mais úteis para a investigação da natureza. Para Bacon, uma tal história se prestaria não apenas a fornecer um novo impulso às artes, através da ligação e transferência de observações de uma arte para outra, mas poderia também indicar e propiciar, nas palavras de Bacon, investigações acerca das "causas das coisas e a dedução dos axiomas das artes". No final de sua vida, Bacon chegou a subordinar seu projeto de uma nova lógica à história da "natureza livre" e da mecânica - isto é, história da natureza e história da natureza modificada pela mão do homem -, insistindo que o progresso não seria possível, mesmo que todos os engenhos de todos os tempos se unissem no estudo da filosofia, sem uma história natural e experimental, sem uma história das técnicas artesanais. Bacon

classificou 140 história particulares das artes, dizendo que tais histórias "mostram as coisas em movimento e levam mais diretamente à prática", tornando possível "arrancar a máscara e os véus que ocultam os objetos naturais". Para ele, seria mais proveitoso se concentrar na história das artes que alteram e transformam os objetos materiais, tais como a agricultura, a culinária, a química, o tingimento, as manufaturas de vidro, esmalte, açúcar, pólvora e papel, embora não se devesse negligenciar aquelas que, mesmo sendo de menor utilidade, exigem sobretudo "um movimento sutil das mãos ou dos instrumentos, tais como a tecelagem, a manufatura dos moinhos, relógios e similares". Seria necessário investigar os materiais empregados, os instrumentos e as máquinas, a forma de aplicação e uso de cada instrumento, os erros cometidos devido ao isolamento de cada arte específica, enfim, seria preciso estudar tudo aquilo que servisse ao aperfeiçoamento das técnicas de trabalho.

Portanto, para Bacon, o progresso da ciência e a melhoria das condições de vida do homem exigia que se incluísse o saber dos técnicos no campo da ciência e da filosofia natural. De acordo com Rossi, uma tradição secular excluía do mundo da ciência oficial "os métodos, os procedimentos, as operações e a linguagem das artes mecânicas", os quais se firmaram no mundo dos "engenheiros, arquitetos, artesãos qualificados, construtores de máquinas e de instrumentos", e deveriam se tornar agora objetos de "consideração, reflexão e estudo". E mais do que o abandono de preconceitos contra as "coisas mecânicas" por parte de um único intelectual isoladamente, o que o projeto baconiano sugeria era um grande movimento de renovação, a perseguição de fins "muito mais amplos e muito menos pessoais", através da colaboração entre academias, colégios, sociedades científicas, soberanos e Estados. Somente com o auxílio dessas grandes organizações a experiência errática "dos mecânicos, o conjunto disperso de pesquisas e observações dos artesãos, os labores cotidianos daqueles que transformam a natureza através da obra das mãos poderão ser subtraídos ao acaso e às ambíguas tentações da magia, dando lugar

a um grandioso" corpo orgânico e sistemático de conhecimentos. É dessa maneira que Bacon esperava concretizar sua utopia contida na *Nova Atlântida*.

* *

Robert Boyle estava entre aqueles que se entusiasmavam pela técnica e pelas artes mecânicas, em detrimento da cultura tradicional e livresca. Boyle afirmava que a inclinação filosófica à qual ele se filiava pretendia cultivar a filosofia natural, a mecânica, a agricultura, em acordo com o princípio que só valoriza o conhecimento útil à prática. Boyle acreditava haver aprendido mais com os homens, com os experimentos e nos laboratórios do que com os livros e nas bibliotecas; pensava ter aprendido menos com tudo que havia lido dos antigos do que com os trabalhadores, a respeito das pedras ou com o que se pode observar operando a dissecação de animais no laboratório, onde é possível perceber a variedade e os sutis expedientes da natureza. Por isso, Boyle contrapunha à figura do "erudito" formado exclusivamente através dos livros à do "cientista" e "experimentador".

Esta preferência de Boyle pelo livro da natureza em vez dos livros da biblioteca, do trabalho nas oficinas antes que as pesquisas puramente teóricas, aproxima-se muitas vezes, segundo Rossi, de uma espécie de *primitivismo científico*. Em Boyle estão presentes aquelas mesmas teses contra o preconceito dos homens cultos pelos mecânicos iletrados, em favor da necessidade de uma história da natureza modificada pelo trabalho, a afirmação de que os procedimentos da técnica contribuem muito mais para o conhecimento efetivo do mundo natural que a leitura dos clássicos. Para Boyle, a história natural e os interesses da humanidade são atingidos por um preconceito tão generalizado quanto perigoso: o de que as pessoas cultas e engenhosas se mantiveram estranhas aos laboratórios e às práticas dos artesãos. A justificação para este ponto de vista pode ser encontrada quando Boyle diz: "A maioria dos fenômenos que surgem nas artes é

parte da história natural e, portanto, demanda a atenção dos cientistas. Esses fenômenos nos mostram a natureza em movimento, quando é afastada de seu curso por obra do poder humano, e este é o caso mais instrutivo em que nos é permitido percebê-la".

Boyle também teorizou acerca da diferença entre os experimentos realizados pelos "virtuosos" nos laboratórios e os realizados nas oficinas dos artesãos. Ele dizia que a notável precisão das observações nos laboratórios era compensada pelo esforço e maior frequência na repetição dos experimentos nas oficinas. Além disso, o trabalho técnico requer que os objetos sejam examinados e modificados à maneira mecânica, através de procedimentos "mecânicos", que podem ser irrelevantes para um homem de formação livresca, mas que podem, ao contrário, se mostrar "verdadeiros" e úteis ao progresso do saber.

Para que o saber técnico não continuasse fora do âmbito da ciência e da cultura e para que fosse possível um intercâmbio fecundo entre as diversas técnicas, Boyle recomendava também uma ampla história da arte. Ele dizia ainda que a humanidade poderia ver seus bens muito ampliados se os filósofos naturais se interessassem pelos ofícios.

No final do século XVII, portanto, Boyle continuava a propor à cultura o projeto formulado por Bacon no início daquele século.

* *

Como Bacon, Leibniz⁵ acreditava que os técnicos e mecânicos podem iluminar o trabalho teórico. Exemplo disto, para Leibniz, foi a descoberta do peso do ar, da máquina de vácuo, do barômetro, que só foram possíveis porque, em contato com construtores de arquedutos e outros artesãos, Galileu soube do

⁵ Apesar de sua admiração por Bacon, Leibniz não deixava de criticar naquele o desconhecimento da matemática, o qual Bacon não sabia utilizar. Leibniz também reprovava a confiança excessiva que Bacon depositava na "filosofia empírica".

limite na altura de elevação de água nas bombas aspirantes; do mesmo modo, Harvey suspeitou do movimento circulatório do sangue observando as ligaduras dos cirurgiões ao cortarem as veias. Estes exemplos estão num texto que indica a influência baconiana a partir do título, que fala de uma nova ciência, renovada e ampliada, para o bem público.

Leibniz pensava que, ao contrário da filosofia, o *saber técnico não é avaliado com as palavras, mas com as próprias coisas*. Ele dizia também que os progressos nas artes eram ainda bastante ignorados pelos homens cultos. De um lado, os técnicos ignoravam a utilização que podiam ter os resultados de suas observações e experimentos; de outro, cientistas e teóricos desconheciam que suas aspirações podiam ser satisfeitas pelo trabalho dos mecânicos. Para Leibniz, se os experimentos e observações dos técnicos fossem reunidos num corpo orgânico de conhecimentos, seriam alcançadas possibilidades desconhecidas e surpreendentes. Por isso ele propunha enfaticamente que se trabalhasse numa história das artes, pois os "conhecimentos não-escritos" das inúmeras técnicas superavam em muito tudo o que se encontrava nos livros, tanto em quantidade quanto em importância; a melhor parte do tesouro da humanidade ainda não havia sido registrada. Para Leibniz, não havia nenhuma arte mecânica tão pequena e desprezível que não fosse capaz de oferecer observações e considerações de importância fundamental para a ciência. As pesquisas voltadas para coisas sólidas e reais, benéficas para a sociedade, que aparecem nas atividades práticas contrastavam, na opinião de Leibniz, com os discursos vagos e batidos da retórica. Ele queria que as atenções se voltassem para todas as práticas dos homens. E nem todas as bibliotecas poderiam remediar a perda de uma só arte. Por isso, "pôr por escrito" os procedimentos utilizados pelos técnicos e artesãos era para ele uma das mais urgentes tarefas da nova cultura. Quanto a esses procedimentos, Leibniz afirmava serem *perfeitamente descritíveis, porque essas práticas nada mais eram*

que teorias mais compostas e particulares do que o comum.⁶

Esta proposta de um grande inventário enciclopédico das artes, que se afina com as considerações de Bacon, também se opõe energicamente à postura de Descartes, que Leibniz censura por ser solipsista. Leibniz censurava no cartesianismo seu isolamento, a despreocupação com o trabalho de outros, a restrição ao estudo aos textos do mestre em vez do estudo do "livro da natureza", a ausências de colaboração. Para Leibniz, a filosofia não podia restringir-se ao culto do próprio intelecto, devendo antes procurar a aperfeiçoamento de todos os intelectos, cultivando para isso um método integralmente transmissível e comunicável. Os resultados de Descartes deviam-se antes a seu gênio que a seu método, segundo Leibniz. Por se privarem dos méritos da colaboração, os cartesianos seriam incapazes de inventar e progredir.

Ao seguir, quanto a esse aspecto, as trilhas de Bacon, Leibniz insistia na validade e significado de uma colaboração efetiva. Ele também concordava com Pascal ao imaginar a história do mundo como se fosse a história de um indivíduo, considerando como sujeito cognoscitivo toda a humanidade ao longo de sua história. A série dos indivíduos no tempo não forma uma coleção incoerente de entidades independentes; o saber humano nasce da colaboração, do trabalho comum de todos os homens, vivos e mortos. E este saber não se confina apenas nas bibliotecas e arquivos, estando presente e atuante em todas as atividades de todos os homens. A este ideal historicista e universalista do saber, como resultado do esforço e da obra de todas as pessoas e gerações, é que estava ligada a afirmação leibniziana da relevância do trabalho dos técnicos para o progresso da ciência e da cultura. A discussão sobre as artes mecânicas permitia uma nova avaliação do trabalho humano.

⁶ Esta forte declaração de Leibniz parece-me bastante interessante -- a de que práticas estabelecidas são teorias mais compostas e particulares do que o comum.

No início da *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts e des métiers*, D'Alembert critica outra *Enciclopédia*, a de Chambers, por considerá-la bastante insatisfatória e incompleta com respeito à ciência e totalmente omissa em relação às artes mecânicas. D'Alembert alegava que Chambers conhecia livros, mas que certas coisas só podiam ser apreendidas nas oficinas e Chambers nunca havia visto artesãos.

O que D'Alembert e os outros enciclopedistas pretendiam era voltarem-se para os artesãos, interrogar os técnicos e operários, definir seus termos, métodos e procedimentos com precisão, inserindo-os num corpo de conhecimentos orgânico e sistemático. Eles almejavam trabalhar numa história das artes. E, como diz Rossi, eles "*polemizavam em favor de um trabalho continuamente iluminado pelo conhecimento dos princípios teóricos que lhe servem de base, e de uma pesquisa teórica capaz de ceder lugar a aplicações práticas e de se reconverter em obras*". Dessa maneira os enciclopedistas, com total consciência, colocavam-se "como herdeiros e continuadores do programa traçado por Bacon". Insatisfeito com os livros, Diderot exigia a coleta dos métodos de trabalho por meio de observações diretas, interrogando e registrando os relatos dos mais hábeis operários em suas oficinas, obtendo sua terminologia, desenvolvendo e estruturando suas idéias, comparando e corrigindo tudo ao consultar vários trabalhadores sobre os mesmos temas. Diderot dizia ser necessário exercer a penosa e delicada função de parteiro da alma, da qual falara Sócrates. Tendo ocupado-se longos anos com as artes mecânicas, Diderot enfatizava os prejuízos causados pela distinção tradicional entre artes liberais e artes mecânicas, que separava o que precisava permanecer unido. Em 1754, porém, os jesuítas ainda se escandalizavam com o que consideravam ser uma importância excessiva atribuída às técnicas e ofícios pelos seguidores do iluminismo.

4.1.4 - A contribuição de Rossi

Ao investigar a situação das artes mecânicas e da técnica de 1400 a 1700, especialmente sua relação com a ciência, Rossi percorre, ao menos implicitamente e superficialmente, os principais temas que procuro tratar neste trabalho: a importância da interação entre ciência e tecnologia - ou entre teoria e prática - para o benefício e desenvolvimento de ambas; a significativa autonomia da experimentação e da observação e seu valor ao mesmo tempo na tecnologia e na ciência; o problema das idealizações presentes nas teorias e as conseqüentes dificuldades que tais teorias encontram para descrever a realidade, especialmente no diz respeito às práticas e às técnicas; a insistência da tecnologia na descrição de aspectos da realidade que lhe são de interesse - mesmo quando uma compreensão teórica mais aprofundada está fora de alcance - e a possível contribuição dessa insistência para o avanço da pesquisa teórica; a importância da técnica ou da prática para a construção de teorias e, inversamente, da teoria para o perfeiçoamento e desenvolvimento de tecnologias; as vantagens, os limites e a contribuição dos métodos, procedimentos e resultados da ciência para a tecnologia e vice-versa. É interessante prestar atenção nas relações existentes entre ciência e técnica naquele período, dentro do qual emergiu a ciência moderna, porque isto pode trazer alguma luz e ajudar a compreender tais relações em nosso tempo.

Também parece que uma certa tensão, que ainda hoje existe entre cientistas e tecnologistas, pode ser em parte compreendida como uma forma residual e modificada daquela contraposição entre intelectual e manual, teórico e prático, entre a curiosidade e contemplação desinteressadas e o trabalho voltado para a subsistência e às coisas materiais, entre artes liberais e artes mecânicas. Este resíduo talvez manifeste-se quando parece haver um certo preconceito, que tende a considerar algo inferiores a tecnologia, as habilidades manuais, a técnica, ou quando não se reconhece devidamente que a tecnologia pode

contribuir de modo efetivo para o progresso do conhecimento científico - de maneira semelhante à qual, no período estudado por Rossi, não era reconhecido que os métodos, os procedimentos, os experimentos e as observações da técnica e das artes mecânicas podiam contribuir efetivamente para o progresso da ciência.

Por outro lado, no período de 1400 a 1700, a afirmação do valor do saber técnico em contraposição ao saber livresco conduziu algumas vezes ao outro extremo, a uma depreciação do valor da própria abordagem teórica - acusada de ser inútil e incapaz de progredir. Que uma inversão desse tipo ocorresse às vezes é até certo ponto compreensível naquelas circunstâncias, com uma reação exagerada à situação anterior. De acordo com Rossi, até mesmo Robert Boyle e outros representantes da Royal Society resvalaram para algum "primitivismo científico" dessa espécie. Nos dias de hoje, por sua vez, muitas vezes tecnologistas tendem a menosprezar o trabalho do cientista ou do teórico, acusados de não serem capazes de fazerem ou produzirem coisas realmente úteis.

* *

Um aspecto da maior importância no trabalho de Rossi, para mim, é justamente a associação que ele procurou mostrar haver existido entre o surgimento da nova ciência e a revalorização da técnica e das artes mecânicas. O trabalho dos técnicos e artesãos passava a ser encarado de uma nova maneira, ao mesmo tempo que se começava a construir a ciência moderna - ou ciência experimental. Esta coincidência, longe de ser gratuita, teria constituído na verdade uma exigência de que o saber técnico fosse incluído no campo do saber científico - e vice-versa.

Portanto, o que posso depreender do trabalho de Rossi, se ele estiver correto, é que a exigência de uma forte interação entre a ciência e a tecnologia deve ter emergido a partir daqueles três séculos: 1400 a 1700. E desde então essa exigência deve ter adquirido uma intensidade crescente.

Se isso é verdade, então é pouco provável que - como

defendem muitos historiadores da ciência e da tecnologia - esses dois campos de atividade (isto é, a ciência e a tecnologia) tenham se desenvolvido de maneira praticamente autônoma e independente, quase sem nenhuma influência de um sobre o outro. É ainda mais improvável - como se a inclinam a pensar aqueles mesmos historiadores - que a ciência costume fornecer conhecimentos à tecnologia muito mais do que esta àquela. Pelo contrário, desde a época estudada por Rossi, é provável que se tenha havido um esforço crescente para fazer interagirem a ciência e a tecnologia.

O próprio Rossi aborda este ponto, ao discutir as considerações de A. R. Hall. De acordo com Rossi, Hall se dispõe "a reconhecer que os grandes progressos da técnica empírica atraíram a atenção dos cientistas 'cultos'", induzindo estes últimos a considerarem como ideal da ciência a submissão da natureza aos objetivos humanos, ideal este que parecia exclusivo das artes e ofícios. Mas, para Rossi, Hall tende a limitar muito o alcance dessa afirmação ao considerar que foi o próprio filósofo que modificou sua posição, independentemente da postura do técnico ou do artesão. Além disso, Hall afirma que a alteração na posição do filósofo foi essencialmente subjetiva. Para Rossi, Hall está dessa maneira ignorando o fato de que, ao contrário dos "mecânicos" e artesãos da Antiguidade e da Idade Média, os técnicos da emergente Idade Moderna "escreveram e publicaram livros, expressaram idéias sobre as artes, as ciências e suas relações", enfrentaram polemicamente a tradição, opondo "seu tipo de saber e abordagem da realidade natural àqueles teorizados e praticados nas universidades.

Rossi nega energeticamente que se possa considerar o novo cientista do século XVII como uma espécie de híbrido entre o velho filósofo natural e o artesão. Mas a idéia de uma convergência entre as teorias e as artes mecânicas - "cara a muitos expoentes da nova cultura, de Bacon a Diderot" - não pode ser destruída afirmando-se, como pretende Hall, que a semelhança entre Copérnico, Veslío e Descartes com um artesão não era maior

que no caso de Ptolomeu, Galeno e Aristóteles. Sem dúvida, observa Rossi, apesar de não ter sido uma espécie de artesão, Vesalio "escreveu sobre os danos causados à ciência médica pela separação entre o trabalho das mãos e a elaboração de teorias, sobre a incapacidade manual dos professores de anatomia, sobre a pobreza de idéias científicas dos barbeiros-dissecadores". Isso ilustra como a cultura e a mentalidade da época de Vesalio diferem daquelas da época de Galeno.

Rossi também discorda de Hall quando este afirma que os cientistas desempenharam uma função de caráter *ativo*, enquanto que os artesãos exerceram um papel de caráter *passivo*, porque essas conclusões de Hall, segundo Rossi, apoiam-se numa comparação que o próprio Hall reconhece não fazer muito sentido. Ou seja, as conclusões de Hall decorrem do fato de que ele coloca num mesmo plano a astronomia e a química. Enquanto que a astronomia possuía uma estrutura teórica altamente organizada e passou por uma alteração radical em 1543, que foi seguida - e não precedida - de uma grande aquisição de novo material fático, a química do mesmo período não possuía a estrutura de uma ciência organizada, não dispunha de uma teoria coerente das mudanças e reações, não tinha uma tradição anterior claramente definida e, em meados do século XVI, os conhecimentos de química dos "técnicos" eram muitíssimo maiores do que o dos filósofos naturais.

Rossi assinala que Hall pretende criticar a redução da história da ciência a uma história da técnica, e a superestimação do significado e alcance da tecnologia na revolução científica. Por isso, à maneira de Koyré, Hall insiste no valor insubstituível das teorias. Para Rossi, a preocupação de Hall é justificável frente a certos setores da historiografia marxista ou a alguns temas pragmatistas e deweyanos. Hall tem razão, por exemplo, quando se considera que o componente empirista na ciência moderna é *causado* pelos desenvolvimentos da técnica, ou quando os procedimentos de tipo "ensaio-e-erro" dos empíricos são tomados como o modelo para a elaboração de teorias científicas,

ou quando a teoria do movimento dos projéteis é visto como efeito da utilização da pólvora. No entanto, observa Rossi, não é preciso chegar tais conclusões simplistas e inaceitáveis quando se investiga a função das artes mecânicas na revolução científica, o significado e importância da nova avaliação das artes, ou a conexão que veio a ligar efetivamente duas dimensões da cultura que, na opinião de Rossi, desenvolveram-se independentemente durante séculos.

4.2 - "Téchne" e epistème

Ferrari e Vegetti [18] comentam a origem, evolução e significado de *téchne* e *epistème* na Grécia antiga, apoiando-se numa ampla bibliografia que aborda este tema. Segundo os autores, as práticas intelectuais e as conotações epistemológicas desses termos passaram por modificações fundamentais na tradição clássica. Coube a um longo e complexo processo histórico, profundamente inserido em conflitos culturais, a decisão a cerca das disciplinas ou dos tipos de conhecimento que pertenciam à *téchne* e quais pertenciam à *epistème*, num esforço de sistematização das "ciências" de acordo com uma hierarquia epistemológica.

4.2.1 - "Téchne"

De acordo com Ferrari e Vegetti, o conceito de *téchne* emergiu de um processo que culminou em um modelo epistemológico estabelecido na segunda metade do século V a.C., como expressão da consciência metodológica e profissional dos praticantes da medicina hipocrática. De acordo com esse modelo, *téchne* referia-se a qualquer atividade prática que solicitasse ao mesmo tempo competência intelectual e destreza manual, que "fosse baseada em conhecimento científico, produzisse resultados que fosse possível verificar, e fosse governada por regras bem definidas que pudessem ser transmitidas através do ensino".

A origem deste modelo estava ligada ao mito de Prometeu, narrado por Ésquilo. Prometeu roubou as *téchnai* dos deuses para dá-las aos homens. Essa dádiva "incluía técnicas de exploração e controle da natureza", como a agricultura e a pecuária, bem como tecnologias mais avançadas como a metalurgia e a navegação, ou ainda "formas específicas de conhecimento tais como a medicina, o cálculo, a escrita e a adivinhação". Algumas atividades definidas como *téchne* pertenciam a antigas tradições familiares e comunitárias, mas foi só na atmosfera política de orientação igualitária das cidades--estado que os artesãos e praticantes de várias técnicas obtiveram reconhecimento social e elaboraram sofisticadas racionalizações de suas práticas. Dentro da *polis* surgiu a concepção de um sistema cultural constituído de uma pluralidade de *téchnai*, ocorrendo uma transformação da mera prática de uma arte na "consciência explícita de que ela implicava um método rigoroso que garantia a racionalidade e a eficácia da técnica empregada". "[As *téchnai* não eram vistas como controladas pelos deuses; de fato, praticantes de medicina ou astrônomos e meteorologistas competiam contra religiosos prestadores de serviços similares. As *téchnai* eram descritas como suportadas pela racionalidade autônoma de seu método, sua eficácia e sua comprovada utilidade para a sociedade da *polis*. Este era o caso com a medicina, historiografia, arquitetura, planejamento urbano e meteorologia."

O mito de Prometeu indica a existência de uma lacuna entre os deuses e os homens, a qual foi ampliada quando "os praticantes das *téchnai* tentaram invadir campos de atividade tradicionalmente monopolizados pelos sacerdotes". O sucesso desta tentativa contribuiu para o declínio definitivo do ponto de vista de que a dádiva prometeica seguiu-se a decadência extrema da humanidade, desprezada pelos deuses. Ao contrário, a nova concepção da história humana insistia que "as *téchnai* libertaram os homens de sua dependência dos deuses e da natureza" e aumentaram o poder e conhecimento humanos, construindo uma civilização feita pelos homens, baseada no domínio sobre a

natureza. Surgia assim, no século V a.C., uma ideologia da *téchne*; e o *homo faber* de Demócrito inspirou uma tradição que estendeu-se até o poeta e filósofo latino Lucrécio e o arquiteto romano Vitrúvio.

Deve-se ressaltar, porém, que a consciência profissional e metodológica dos praticantes das *téchnai* -- os "tecnologistas" -- não impedia que suas atividades ainda fossem consideradas como dependentes de elementos mágicos, nem que ficassem livres da influência dos mitos e das ideologias políticas. Inexistiam estruturas voltadas para o treinamento sistemático de artesãos, e não havia um currículo estabelecido e com o reconhecimento e aprovação política e social. Por isso, não havia um critério nítido para distinguir os charlatões dos verdadeiros *téchnitai* ("tecnologistas"), que precisavam constantemente fazer sua defesa e justificação. A posição privilegiada conquistada pelos praticantes das *téchnai* durante o século V a.C. era portanto precária, e vulnerável às mudanças políticas, às modificações na cultura ou aos desenvolvimentos sociais; no século seguinte, a situação dos *technitai* já não era a mesma, diluída e deteriorada.⁷

4.2.2 - "Epistème"

⁷ Ferrari e Vegetti referem-se a um autor, Benjamin Farrington, que escreveu uma obra sobre a ciência na Grécia antiga. De acordo com Farrington, a ciência grega pode ser dividida em duas tradições principais: uma manual, técnica, experimentalista, materialista e indutiva, outra abstrata, especulativa, idealista e dedutiva. Para Farrington, havia um conflito entre essas duas tradições, o qual terminou com o predomínio da tradição "idealista". No entanto, segundo Farrington, essa vitória da tradição idealista foi aparente, pois ela marcou também o fim da ciência grega -- ou ao menos o início de seu declínio --, que ficou desprovida do apoio vital da tecnologia e da prática.

Ferrari e Vegetti observam que o conhecimento que se encontrava na base das *téchnei*, dando-lhes suporte, "era às vezes descrito como *epistéme*, 'ciência'". Mas no início do século IV a.C., em uma tradição cultural distinta, Platão considerava *epistéme* o "conhecimento auto-evidente e certo, afastado da incerteza da experiência e da prática das artes". Platão identificava a *epistéme* com as "idéias", que eram entidades reais e as únicas que podiam ser propriamente chamadas de "objetos". Na tradição platônica, os objetos da *epistéme* vieram a ser classificados em "duas categorias primárias: as formas da linguagem, capazes de expressar conteúdos racionais, e as formas matemáticas, a aritmética e, sobretudo, a geometria".

Para os autores, "a individuação de uma classe específica e particular de objetos para a *epistéme*" foi o elemento fundamental para a afirmação de uma tradição cultural distinta e, até certo ponto, oposta à cultura das *téchnei*. "A definição de *epistéme* emergiu de uma tradição sagrada e xamanista", a dos "mestres da verdade", os quais formavam uma classe de indivíduos relacionados com a legislação política, com o templo e com o exercício de rituais religiosos, e que sustentavam ser o conhecimento primariamente uma questão de iniciação e revelação. Embora o conceito de *epistéme* viesse a ser cada vez melhor delimitado, os "mestres da verdade" continuaram sustentando sua origem sagrada e a natureza divina dos objetos da *epistéme*; por isso, a inspiração divina era tida como a melhor forma de propagar a *epistéme*, e o "contexto sagrado da produção deste tipo de conhecimento representava a garantia de sua pureza e certeza". Os autores enfatizam que a transição, sobretudo com Parmênides e os pitagóricos, "da velha sabedoria sagrada dos 'mestres da verdade' para as novas formas de conhecimento racional e abstrato teve lugar dentro da tradição sagrada". Exemplo disso eram a convicção, no movimento pitagórico, de que a ordem astronômica correspondia à imagem visível da ordem divina, e de que a matemática era indispensável para sua compreensão. Por

outro lado, o poderoso pensamento analítico de Parmênides teria exercido grande influência sobre "o desenvolvimento de formas da lógica abstrata e do raciocínio matemático".

Portanto, a idéia de *epistémē* nessas tradições de pensamento apoiava-se fortemente sobre formas secretas, e era considerada como a única forma verdadeira de conhecimento, em contraste com outras crenças, condenadas como mal fundadas, impuras e contraditórias. De acordo com os autores, foi esse contexto que inspirou a oposição, estabelecida por Platão em termos epistemológicos e ontológicos, entre verdade e opinião. Todavia, Platão procurou conciliar as duas formas conflitantes de conhecimento, *epistémē* e *téchne*, por meio de um esquema hierárquico, através do qual a *epistémē*, representada pela astronomia e matemática, era colocada no topo da atividade intelectual humana, considerando a *theoria* como ampliadora dos limites da racionalidade e permitindo assim a contemplação da ordem divina. Já as *téchnai*, consideradas inferiores, tratavam dos objetos sujeitos a perpétuas mudanças no espaço e no tempo. Desse modo a hierarquia epistemológica proposta baseava-se na natureza dos objetos investigados, embora Platão reconhecesse valor epistemológico nas duas formas de conhecimento. A proeminência e autoridade da *epistémē* derivava de suas características: pureza teórica e permanência e verdade de seus resultados. Por outro lado, as *téchnai* deviam seu mérito à eficiência prática de seus métodos -- no *Timeu*, Platão fala de um divino artesão que deu ordem ao mundo. Como paradigma de conhecimento produtivo e eficaz, indispensável para o processo dialético de transformação, pelo filósofo, do sistema ético e político existente, a *téchne* era vista uma atividade tão importante para o filósofo-rei platônico quanto a pura teoria.

Embora a transformação dialética da sociedade não tenha sido alcançada como desejado nessa tradição intelectual, permaneceu a primazia do conhecimento matemático, considerado como de dignidade epistemológica e de valor moral superiores. A hierarquia de conhecimento proposta por Platão foi aceita por

Aristóteles, o qual porém no entanto deu ainda mais ênfase à superioridade da *epistémē* sobre a *téchne*. Aristóteles, no entanto, ampliou o domínio da teoria pura, incluindo, diferentemente de Platão e sua tradição, os objetos sujeitos a mudança no espaço e no tempo na esfera da *epistémē*. Física, meteorologia, zoologia, enfim, as ciências naturais, não eram mais vistas por Aristóteles como inferiores à matemática, desde que fossem satisfeitos os requisitos epistemológicos da *epistémē*. Desse modo, o conhecimento não obedecia mais a uma hierarquia estabelecida em termos dos objetos de investigação, mas sim de acordo com o método de pesquisa. Assim, os aspectos fisiológicos e anatômicos da *téchne* médica, por exemplo, eram considerados como pertencentes à parte da *epistémē* responsável pelo estudo dos produtos naturais, ficando a *téchne* médica reduzida à prática terapêutica. "*Epistémē* era então vista como conhecimento teórico puro, e *téchne* como a atividade orientada para a produção e transformação dos objetos e processos naturais." Socialmente, esta nova hierarquia epistemológica implicou o afastamento dos praticantes das *téchne* da liderança intelectual que eles almejavam durante o século V a.C., ainda que os doutores, arquitetos e engenheiros pudessem obter prestígio e riqueza no exercício de suas habilidades profissionais; as instituições científicas ficaram reservadas somente para aqueles que se dedicavam à investigação teórica.

4.3 - Arte, natureza e a máquina do mundo

Um tema bastante ligado com o da *téchne* e *epistémē*, ou tecnologia e ciência, é o da relação entre arte e natureza.

A relação entre arte natureza no início da ciência moderna e a concepção do mundo como uma máquina são discutidos por Rossi [56]. Ele lembra que no aristotelismo e na medicina hipocrática a natureza é um *ideal*, cabendo à arte sua realização ou restabelecimento; a natureza é uma *norma* cujos preceitos e indicações a arte deve atender a fim de alcançar seus objetivos.

De acordo com a definição aristotélica da arte, através de suas produções, a arte pode apenas imitar ou completar a natureza.⁶ Nos textos aristotélicos, os frequentes paralelos entre a arte e a natureza servem precisamente para ajudar a compreender aquilo que é menos familiar -- isto é, a natureza --, por meio da análise dos procedimentos mais familiares das diversas artes. Alguns dos maiores expoentes da nova ciência, porém, contrapunham-se radicalmente à definição aristotélica da arte como complemento da obra da natureza ou imitação de suas produções, porém, alguns dos maiores expoentes da nova ciência contrapunham-se radicalmente, e afirmavam, em vez disso, "uma não-diversidade substancial entre os produtos da arte e os da natureza".

No pensamento antigo e medieval, a arte aparecia como uma imitação da natureza; muitas vezes era vista como sinal de impiedade e temeridade a pretensão da arte em alcançar a perfeição da natureza. Nessa secular tradição, a arte era vista apenas como uma tentativa de imitar a natureza, como uma falsificação que toma de empréstimo os movimentos da natureza. O movimento natural possui espontaneidade, pois possui dentro de si "o princípio de um movimento indefinido"; por outro lado, as tentativas da arte em imitar a espontaneidade do movimento natural são condenadas ao fracasso, já que os produtos da arte movem-se por meio de um princípio externo. Rossi observa que,

⁶ Layton [39] observa que Aristóteles, distinguindo entre os objetos da arte e os da ciência, considera que arte trata de aquilo que virá a ser, do planejamento e ponderação de como algo poderá vir a ser, dado que este algo possui a capacidade de ser ou não. Quanto à ciência, Aristóteles considera que ela trata das coisas que existem necessária e naturalmente.

Com certeza é isto que significa o conceito aristotélico de que a arte completa a natureza. A arte trata da realização daquilo que possui a capacidade e a possibilidade de ser ou não. A natureza, aquilo que é necessariamente, é objeto da ciência.

para Bacon, essa doutrina estava ligada à teoria aristotélica da espécie, segundo a qual um produto da natureza -- por exemplo, uma árvore -- possui uma *forma primária*, enquanto que um produto da arte -- uma mesa -- possui apenas uma *forma secundária*.

Bacon, ao contrário, classifica a *história das artes* como um ramo da *história natural*. Num trecho citado por Rossi, Bacon escreve: "De fato, afirmou-se a inveterada opinião de que a arte é coisa diferente da natureza e as coisas artificiais [diferentes] das naturais. Daqui derivou o inconveniente de que muitos escritores de coisas naturais crêem ter alcançado seu objetivo compondo uma história dos animais, dos vegetais, dos minerais e omitindo os experimentos das artes mecânicas. Mas um preconceito ainda mais sutil insinuou-se na mente dos homens: a arte não passa de um apêndice da natureza, que teria apenas a tarefa de completar aquilo que a natureza somente iniciou, de assisti-la enquanto ela se deteriora ou de libertá-la quando está impedida, mas nunca a tarefa de revolvê-la profundamente, de transmutá-la, de abalá-la até suas profundezas. Isso provocou um precipitado desespero nas coisas humanas. Pelo contrário, esse princípio deveria ter penetrado em profundidade nas mentes: as coisas naturais não diferem das naturais pela forma ou pela essência, mas apenas pela causa eficiente [...] [Quando as coisas estão dispostas à obtenção de um determinado efeito, pouco importa que este seja alcançado pelo homem ou sem o homem."

Para Bacon, portanto, a arte nada mais é que o homem acrescido à natureza. Não faz nenhuma diferença se as condições para a existência de um fenômeno encadeiam-se naturalmente ou se são dispostas pelas mãos humanas: *não há heterogeneidade entre os fenômenos naturais e os artificiais*. Os movimentos naturais não se contrapõem aos artificiais, o calor solar pode ser comparado ao do fogo, o ouro encontrado naturalmente na areia é o mesmo que é produzido artificialmente nas fornalhas, a física celeste é idêntica à celeste. Para Bacon, a tradicional separação entre o natural e o artificial gerou consequências bastante danosas para o desenvolvimento do saber e da civilização.

Bacon invertia conscientemente algumas das formulações aristotélicas acerca da relação entre arte e natureza, afirmando que não há nenhuma distinção entre os objetos da arte e os da natureza.⁹ Ao contrário do que pensavam os antigos, é possível imitar o raio. Os produtos da arte não são uma mera imitação dos da natureza, nem os produtos da primeira são inferiores aos da segunda.

O mesmo ponto de vista é defendido por Descartes. Rossi cita Descartes: "não há diferença alguma entre as máquinas construídas pelos artesãos e os diversos corpos que somente a natureza compõe, a não ser esta: os efeitos das máquinas dependem apenas da ação de tubos ou molas e outros instrumentos que, devendo ter alguma proporção com as mãos daqueles que os

arte não deixa de um apêndice da natureza, ou, melhor ainda,

⁹ Vale recordar, Ferrari e Vegetti disseram que, para Aristóteles, *téchne* e *epistémé* não se distinguem por tratarem de classes distintas de objetos, mas sim pelo método ou abordagem de pesquisa.

Portanto, se tanto Ferrari e Vegetti quanto Rossi têm razão, é possível chegar a algumas conclusões bastante interessantes. Aristóteles, por um lado, não distingue os objetos da *téchne* dos objetos da *epistémé*; por outro lado, ele afirma que a arte imita a natureza, a qual representa um ideal a ser realizado ou reconstituído pela arte, como uma norma cujos preceitos a arte deve seguir. Mais que isso, de acordo com Rossi, a definição aristotélica da arte afirma haver uma distinção entre os produtos (ou os objetos) da natureza e os da arte. Conclui-se daí que os objetos da natureza e os da arte, embora distintos, pertencem ambos à *epistémé*; a classe de objetos da *epistémé* divide-se então em duas sub-classes, a dos objetos naturais e a dos artificiais, que imitam os primeiros, realizando-os ou reconstituindo-os.

Como indicou Bacon, Aristóteles atribuía aos objetos da natureza uma *forma primária* e aos objetos da arte uma *forma secundária*. É a distinção entre estas duas espécies que Bacon nega existir.

constrem, são sempre tão grandes que tornam visíveis suas figuras e seus movimentos, ao passo que os tubos ou molas que produzem os efeitos naturais são geralmente pequenos demais para poderem ser percebidos por nossos sentidos [...]. Para Descartes, a máquina, um produto da arte, serve como modelo para a compreensão da natureza. A própria natureza é semelhante a um produto da arte. É o que diz Descartes ao recorrer à máquina para compreender o funcionamento do corpo humano, num trecho citado por Rossi. Descartes: "Vemos que relógios, fontes artificiais, moinhos e outras máquinas desse tipo, mesmo sendo construídas por homens, nem por isso deixam de ter a força para se moverem sozinhas de diversos modos; e mesmo para aquela máquina, que suponho ser feita pelas mãos de Deus, não me parece possível imaginar tantos tipos de movimento, nem atribuir a ela tanto artifício, que nos impeça pensar que aí não possam existir outros mais. [...] E na verdade podem-se muito bem comparar os nervos aos tubos das máquinas daquelas fontes, seus músculos e tendões aos vários outros mecanismos e molas que servem para movê-las; e seus espíritos animais à água que os movem e cujo coração é a fonte e cujas concavidades do cérebro são os reservatórios. Além do mais, a respiração e outras semelhantes ações naturais e ordinárias dessa máquina, que dependem do andamento dos espíritos, podem ser comparadas aos movimentos de um relógio ou de um moinho, que podem se tornar contínuos com o fluir da água."

Até mesmo Kepler, profundamente influenciado pelo pitagorismo matemático, recorre à imagem da máquina e do relógio. Kepler, citado por Rossi: "Uma época, embebido pelas doutrinas de Giulio Cesare Scaligero sobre as inteligências motoras, eu acreditava que a causa motriz dos planetas fosse uma alma. [...] A finalidade que aqui me proponho é afirmar que a máquina do universo não é semelhante a um divino ser animado, mas semelhante a um relógio (quem acredita ser o relógio animado atribui à obra a honra que cabe ao artífice), e nela todos os diversos movimentos dependem de uma simples força ativa material, assim como todos os movimentos do relógio se devem ao simples pêndulo".

Também para Robert Boyle o universo é uma grande máquina semovente. Para Boyle, matéria e movimento são os dois grandes princípios universais que regem todos os fenômenos.

Tendo a máquina como modelo, esperava-se explicar integralmente a realidade física e biológica em termos da matéria e do movimento, o que implicava numa alteração extremamente profunda no conceito de natureza, que deixava de ser "composta por formas e essências com 'qualidades' inerentes", diz Rossi. O mundo da física devia ser traduzível em termos matemáticos e quantitativos e não em qualidades irredutíveis a esses termos. Não se poderia esperar encontrar "hierarquias" na natureza; todos os fenômenos, assim como todas as peças de uma máquina, possuem um mesmo valor -- independentemente do homem. "Conhecer a realidade significa entender como funciona a máquina do mundo"; e a máquina pode, em princípio, ser desmontada em seus elementos constituintes e ser reconstituída peça por peça. Rossi ilustra isso com um trecho de Gassendi: "Sobre as coisas naturais indagamos da mesma forma como indagamos sobre as coisas de que nós próprios somos os autores. [...] Nas coisas da natureza em que isso é possível, fazemos uso da anatomia, da química, de todos os tipos de auxílios, a fim de entender -- resolvendo até onde for possível os corpos e como que os decompondo -- de elementos e segundo quais critérios eles são compostos".

Só é possível conhecer algo acerca do que é produzido artificialmente, do que que é criado ou construído pelo intelecto ou pelas mãos. Somente Deus, criador e construtor do mundo, pode ter conhecimento das causas e das essências. Sobrepe-se, à imagem do Deus geômetra, a do Deus "mecânico", que construiu o relógio perfeito que é mundo. Também em Leibniz encontra-se presente a idéia de um Deus relojoeiro, de um Deus que governa o mundo e aos espíritos assim como um engenheiro controla suas máquinas.

O conhecer como fazer, a identidade entre conhecer e construir, valem tanto para Deus como para o homem. E o intelecto finito e limitado do homem só pode alcançar as verdades

correspondente ao saber construído pelos próprios homens -- a física, a geometria, a matemática. Só aquilo que se faz é cognoscível, só o que é construído ou reconstrutível, só o que é artificial. Mersenne afirma que apenas podemos conhecer verdadeiramente aquilo que podemos construir com as mãos ou com o intelecto, enquanto nunca poderemos conhecer as coisas feitas por Deus, porque não podemos fazê-las ou construí-las. Hobbes também sustenta opiniões semelhantes a esse respeito. Vico declara que "não consideramos verdadeiro na natureza senão aquilo de que, por meio de experimentos, conseguimos fazer um símile"; ele afirma também que a aritmética, a geometria e a mecânica "estão na faculdade do homem", pois nessas áreas "demonstramos uma verdade enquanto a fazemos". Vico compara o fazer de Deus com o do homem, dizendo que "assim como a natureza dá vida às coisas físicas, da mesma forma o engenho humano [dá] à mecânica; assim como Deus é artífice da natureza, da mesma forma o homem [o é] das coisas forjadas pela arte".

Para Rossi, a negação da doutrina aristotélica das relações entre arte e natureza; a idéia do saber como construção; a cognoscibilidade, para o homem, dos produtos de sua mente e de sua mão -- o que inclui a esfera do direito, da moral, da história --; o modelo da máquina para a explicação e compreensão do mundo físico; a imagem de Deus como artífice, engenheiro ou relojoeiro; cada um desses temas estava sem dúvida relacionado com a introdução, no mundo dos filósofos e cientistas, de um novo modo de considerar aquela *prática* e aquelas *operações* por muitos séculos relegadas às margens da cultura, consideradas indignas da atenção dos estudiosos e da consideração dos acadêmicos".

4.4 - Natural e artificial na ciência e tecnologia modernas

4.4.1 - Natureza e artefato

Rapp [52] observa que é pouco convincente procurar

delimitar as ciências naturais da tecnologia argumentando que as primeiras tratam da ordem natural, isto é, da natureza intocada pela mão humana. Isso parece razoável na visão teleológica da natureza expressa na física aristotélica, onde todo movimento natural possui uma finalidade que lhe é peculiar e, portanto, qualquer alteração introduzida pelo homem parece constituir uma intervenção no curso natural das coisas. Na ciência moderna, no entanto, não existe distinção entre eventos naturais e fenômenos causados pelo homem; pelo contrário, o grande progresso da ciência moderna só foi possível porque distinção foi abandonada.

As maiores conquistas da moderna ciência natural somente foram obtidas através de uma combinação de *teoria matemática idealizada e experimentação sistemática*. Os fenômenos a serem investigados teoricamente têm antes de ser criados "artificialmente", em condições experimentais adequadas. Só raramente a ciência observa diretamente a ordem natural, a natureza intocada, sem a intervenção de sofisticados e complexos instrumentos. Não há diferença fundamental entre um processo produzido artificialmente e um que ocorre espontaneamente -- muitos dos quais podem inclusive ser induzidos artificialmente.

Por isso, conclui Rapp, a distinção entre natural e artificial não constitui uma base adequada para a diferenciação entre ciência e tecnologia, pois ambas "envolvem intervenção deliberada na natureza intocada, resultando na produção de objetos ou de fenômenos que estão basicamente sujeitos às mesmas leis", sendo portanto possível, em princípio, investigá-los por meio dos mesmos procedimentos. Qualquer pessoa familiarizada com a ciência e tecnologia sabe que o cientista e o engenheiro não estabelecem nenhuma distinção entre fenômenos naturais e artificiais, considerando que os objetos da pesquisa científica e os da atividade técnica são do mesmo tipo, em princípio, razão pela qual é possível aplicar os mesmos conceitos e as mesmas fórmulas matemáticas tanto aos processos da "natureza intocada" quanto aos processos induzidos pelo homem. Daí ser possível a aplicação de resultados da ciência à produção de artefatos

técnicos. O que para a ciência constitui o objeto de pesquisa, para a tecnologia forma o substrato com o qual o homem obtém ou induz produtos e processos. As leis que governam esses objetos ou fenômenos são essencialmente as mesmas, seja o objetivo a mera contemplação, a intervenção ativa ou a invenção técnica. O conceito de natureza na ciência e na tecnologia compreende tanto a "ordem natural" quanto tudo aquilo que é produzido artificialmente.

Uma consequência de se nivelar aquilo que existe espontaneamente com aquilo que é produzido artificialmente, segundo Rapp, é que a natureza passa a ser mais acessível; a natureza não precisa mais ser apenas algo a ser aceito e reverenciado; há um convite a dominá-la, controlá-la, a vencer sua resistência. É possível, dentro de certos limites, impor utilizações da natureza, conduzindo-a para onde se deseja. Essa exploração da natureza hoje, pode conduzir a enormes intervenções na natureza -- inclusive, por exemplo, a ponto de destruir nosso meio ambiente.

4.4.2 - Um retorno infeliz

Bunge [10] define o artificial como aquilo -- coisas, estados ou processos -- que é feito opcionalmente através de conhecimento adquirido. Com essa definição, que exige a presença de uma escolha e decisão, Bunge pretende excluir do reino dos artefatos coisas como ninhos de pássaros ou teias aranha. Porém, penso que o argumento de Bunge não funciona. Ainda que uma aranha não tenha outra alternativa senão construir teias para sobreviver, suas teias se situarão num lugar e não noutra, formarão um determinado arranjo espacial em vez de outro, serão maiores ou menores conforme as circunstâncias. Um pássaro, para construir seu ninho, selecionará entre o material disponível aquilo que lhe parecer mais conveniente. Seria razoável não falar em escolha nestes casos, só porque não se identifica tais comportamentos como racionais? De qualquer forma, um pássaro pode

construir ninhos diferentes e uma aranha pode dispor suas teias de mais de uma maneira. E Bunge afirma que o fundamental, para que algo seja considerado artificial, é ser possível fazer alguma coisa diferente.

Bunge fornece uma tábua de diferenças entre o natural e o artificial. Para ele, o natural é autônomo, possui origem própria, desenvolve-se espontaneamente, obedece a leis, não é projetado ou planejado, não possui nenhum custo de produção e é *estudado pela ciência*. Por outro lado, Bunge considera que o reino do artificial depende do homem e deve a este sua origem e desenvolvimento, que o artificial evolui de acordo com propósitos humanos, que ele obedece a leis e a regras, que é projetado e planejado, que possui um custo dependente do trabalho humano (manual ou intelectual) e que *é estudado pela tecnologia*.

Estas atribuições opõem-se em pontos fundamentais ao que Rapp diz a respeito do natural e do artificial na ciência moderna, que me parece muito mais acertado. Considerando que a ciência moderna depende da realização de experimentos, os quais têm de ser realizados em condições adequadas, produzindo ou induzindo a ocorrência dos fenômenos desejados, fica claro que esses experimentos precisam ser projetados e planejados e que eles têm um custo de produção; além disso nada impede que a ciência estude objetos ou fenômenos ditos "artificiais", nem tampouco que a tecnologia estude objetos ou fenômenos classificados como "naturais", devendo ocorrer justamente o contrário do que sugere Bunge.

Na verdade, Bunge reconhece que um dos maiores triunfos da revolução científica no século XVII foi ter suprimido a distinção entre o natural e o artificial, eliminando a barreira entre ambos. Bunge avisa que ele não quer recuperar aquela antiga distinção entre *phýsis* e *artiphýsis* facilitou o contato entre as artes (ofícios) e as ciências. Bunge afirma querer apenas ressaltar que a tese da identidade entre natural e artefato só é parcialmente verdadeira, pois os artefatos são projetados e produzidos, além de servirem a finalidades humanas. O que

diferencia seu ponto de vista do antigo é sua afirmação de que os componentes elementares dos artefatos obedecem às leis naturais, o que permite que os artefatos sejam analisados por meio dessas leis. Bunge observa inclusive que o estudo do artificial pode propiciar o conhecimento de leis e propriedades novas e anteriormente desconhecidas -- como os novos materiais plásticos, por exemplo.

No entanto, ao negar a antiga distinção entre natureza e artifício, mas ao mesmo tempo erguendo uma nova barreira estabelecendo esta distinção em outros termos, não penso que Bunge consiga ficar livre de uma certa ambigüidade. Isso pode ser ilustrado, por exemplo, com a afirmação de Bunge de que a distância entre o natural e o artificial aumentou dramaticamente quando os químicos orgânicos começaram a sintetizar novas substâncias; pois me parece claro que se alguma coisa aumentou dramaticamente neste caso foi, ao contrário do que afirma Bunge, a proximidade entre natureza e artefato. Além do mais, se o critério proposto por Bunge fosse rigorosamente aplicado, creio que se deveria dizer que, quando a química estuda substância sintética, não se deve dizer que se trata de uma ciência, e sim de uma tecnologia; da mesma forma, quando se obtém um novo elemento químico que inexiste espontaneamente na natureza, não se trata de uma ciência, mas de uma tecnologia.

Portanto, mesmo que se aceitem as diferenças entre natureza e artefato propostas por Bunge -- que, como eu disse, não parecem nem um pouco convincentes --, seria ainda necessário evitar sérias ambigüidades que esta distinção parece acarretar para os conceitos de ciência e de tecnologia.

É claro que seria possível definir com razoável clareza o que é artificial a partir de sua condição básica de dependência da intervenção humana. Essa definição, no entanto, não acarretaria nenhuma consequência epistemológica importante. Seria equivocado pretender distinguir ou contrapor artificial e natural. Na ciência e tecnologia modernas, os artefatos são considerados parte constituinte da natureza. O conceito de

artificial, nesse caso, corresponderia ao de uma classe contida na classe maior do natural, e o reino do artificial seria delimitado, dentro do reino do natural, a partir de sua dependência da intervenção humana.

V - TEORIA E TECNOLOGIA: ALGUNS COMENTARIOS

As teorias na tecnologia não são epistemologicamente distintas das teorias científicas. A tecnologia coloca ênfase nos procedimentos empíricos e experimentais mais do que o faz a ciência; mas isto não implica que a tecnologia construa teorias que se distingüam das científicas, do ponto de vista epistemológico.

Acredito que a distinção e separação entre *epistémé* e *téchne* ainda deixam marcas ou resíduos. Creio que isso se deva à justa necessidade de se distingüir entre teoria e habilidade técnica. A teoria surgiu como principal paradigma do conhecimento na Grécia antiga, sob o conceito de *epistémé*. Não obstante, Platão já considerava também a *téchne* uma forma de conhecimento, junto da *epistémé*; mas elas constituíam duas formas distintas de conhecimento.

Parece-me que a dificuldade consiste no seguinte: a distinção entre teoria e habilidade técnica é acertadamente reconhecida; ao mesmo tempo, também com acerto, percebe-se que o exercício de uma atividade técnica costuma exigir também algum conhecimento; segue-se daí a tendência a se considerar o conhecimento necessário a uma atividade técnica como fundamentalmente distinto do conhecimento científico -- ou mesmo distinto do conhecimento teórico em geral.

A dificuldade torna-se mais nítida na medida em que o conhecimento é entendido no sentido que lhe é mais próprio, sentido esse que tem como maior peculiaridade a exigência de que o conteúdo do conhecimento possa ser expresso através de uma linguagem (racional) -- denominemos este tipo de conhecimento de *conhecimento racional*. O que pretendo ressaltar, propondo esta definição, é que ela exclui aquele saber que é próprio da habilidade técnica -- como, por exemplo, saber dirigir um automóvel, ou saber utilizar uma ferramenta --, saber esse que

poderia ser denominado simplesmente como *habilidade*.¹

Digo que a dificuldade torna-se mais nítida, quando se exclui a habilidade do conceito de conhecimento, porque as atividades técnicas costumam exigir mais do que habilidade; algum conhecimento racional também é requisitado. Para o exercício da técnica, é frequentemente necessário, mais do que simplesmente desejável, a concorrência de algum conhecimento racional. Porém, é comum que se considere o conhecimento racional que acompanha a técnica como constituindo em geral um tipo de conhecimento distinto do científico. Costuma-se admitir, nesses casos, a existência de em um conhecimento racional técnico, relativo à atividade técnica, enquanto epistemologicamente distinto do conhecimento racional da ciência.

Acredito que essa idéia de um conhecimento racional específico da técnica deve-se, entre outras coisas, à necessidade, na técnica eficiente e progressiva, da presença simultânea da habilidade e do conhecimento racional. Na atividade técnica, o conhecimento racional aparece em íntima cooperação com a habilidade, com o saber fazer; daí provavelmente a tendência a se considerar o conhecimento racional próximo e interessado na técnica como fundamentalmente distinto do conhecimento científico. Talvez essa tenha sido, desde os gregos, a principal motivação para a tentativa de se procurar sustentar a existência de uma distinção epistemológica fundamental entre conhecimento científico e conhecimento tecnológico.

5.1 - A influência clássica

A distinção estabelecida pelos clássicos entre *techné* e *epistémé* possui seus méritos, sem dúvida, caso contrário não seria tão influente até hoje. Explicitamente ou não, a distinção clássica sempre permeia o tema da relação entre ciência e

¹ Poder-se-ia falar aqui também de um *saber fazer*, que por sua vez não estaria muito distante, e não por acaso, de "know-how".

tecnologia; essa influência é indiscutível. Para mim, talvez o fator que mais contribui para essa influência encontra-se no fato de que a distinção clássica realmente apreende algo fundamental quando relaciona a *techné* com a habilidade e o *saber fazer*², de um lado, e a *epistémé* com o conhecimento teórico, do outro. No entanto, vejo na distinção clássica uma séria dificuldade: ela não é capaz de levar em conta a profunda interação entre habilidade técnica e teoria, nem de apreender adequadamente a presença simultânea da habilidade técnica e da teoria tanto na ciência quanto na tecnologia modernas. Embora na ciência a ênfase tenda para a teoria, enquanto que na tecnologia a ênfase inclina-se mais para o saber fazer e a habilidade, deve-se notar que essa é apenas uma tendência mais ou menos geral, cujo reconhecimento só é útil numa abordagem preliminar, que implica num modo simplificado de ver o problema.

5.2 - Regras tecnológicas

Bunge ([7], [8]) não afirma que a tecnologia construa teorias epistemologicamente distintas das científicas. Pelo contrário, ele nega às regras tecnológicas qualquer validade epistemológica.

Bunge afirma que a ciência ("pura") concentra sua atenção nos padrões objetivos chamados leis, enquanto que a tecnologia -- e mesmo a ciência aplicada -- está interessada no estabelecimento de normas úteis para a ação humana eficiente, que ele chama de *regras*. O importante a destacar é que Bunge nega

Para Bunge, enquanto as leis dizem como as coisas são, as regras são apenas normas que informam como agir para obter algo que se deseja; leis têm valor de verdade, podem ser mais ou menos verdadeiras, o que não ocorre com as regras, que podem ser apenas mais ou menos efetivas, não sendo possível falar em valor

² E com todo o conhecimento "não-científico" ligado ao fazer e à habilidade, ou com o saber prático "não-teórico" em geral.

de verdade para as regras. Bunge afirma que as regras da ciência e da tecnologia, ao contrário do que ocorre com as regras práticas das antigas artes e ofícios, são regras fundamentadas no conhecimento científico, isto é, nas leis. Bunge diz que uma regra pode ser considerada empiricamente efetiva apenas quando se sabe *porque* ela é efetiva, quando se compreende como ela opera. Isso não significa que a efetividade de uma regra depende do conhecimento do *porquê* dessa efetividade, observa Bunge; o que ele afirma é que não há critério para se saber quando uma regra é efetiva sem que se compreenda as razões da efetividade. No entanto, acho difícil concordar com Bunge a este respeito; a confiança na efetividade de uma regra não exige o conhecimento do *porque* dela funcionar. Não vejo nenhuma dificuldade em se proclamar afirmativamente a efetividade de uma regra sem que se saiba *porque* ela é efetiva: basta que a efetividade tenha sido suficientemente testada empiricamente; não interessa qual a explicação dessa efetividade.

Toda a discussão de Bunge gira em torno de um exemplo que me parece bastante modesto, bem pouco representativo. Bunge propõe que se considere a seguinte lei científica: (L) "se a temperatura de um corpo magnetizado excede seu ponto Curie, este corpo perde seu magnetismo" -- mais precisamente, o ponto Curie é o ponto de conversão de ferromagnetismo em paramagnetismo ou o inverso, mas Bunge afirma que esse refinamento é em geral irrelevante para a tecnologia. Essa proposição nomológica serve de base para a seguinte proposição, que Bunge chama de *nomopragmática*: (LP) "se um corpo é aquecido acima de seu ponto Curie, então ele é perde seu magnetismo" -- Bunge diz que "é aquecido" constitui o predicado pragmático. Esta proposição nomopragmática, por sua vez, serve de fundamento a duas regras distintas: (R1) "para desmagnetizar um corpo aqueça-o acima de seu ponto Curie"; e (R2) "para evitar a desmagnetização de um corpo, não o aqueça acima de seu ponto Curie". Portanto, um padrão objetivo expresso por uma proposição nomológica serve de base a uma proposição nomopragmática, sobre a qual se fundamentam

duas regras distintas.

Bunge chega a sugerir uma espécie de "lógica" própria das regras, inclusive definindo o que ele chama de "conectivos de regra". Bunge atribui a L a fórmula $A \rightarrow B$ e, então, escreve: $(A \rightarrow B) \text{fund}((B \text{ per } A) \text{ vel } (\neg B \text{ per } \neg A))$, e $(B \text{ per } A) \text{aeq}(\neg B \text{ per } \neg A)$, onde os conectivos "per" e "vel" possuem um significado análogo ao da implicação e da disjunção, respectivamente; fund e aeq não possuem análogos na lógica clássica, e significam "é o fundamento de" e "é 'equieiciente' a", respectivamente.³ Bunge afirma também que as regras não possuem valor de verdade, mas sim valor de efetividade. Ele propõe que a função de verdade das fórmulas do tipo $A \text{ per } B$ seja trivalente, sendo análoga à implicação quando o antecedente é satisfeito, mas assumindo um valor indeterminado -- designado por "?" -- quando o antecedente não é satisfeito.

Aparentemente, Bunge propõe esta quase-lógica das regras porque pressupõe que entre as leis científicas e as regras tecnológicas há uma distinção absoluta. No entanto, não vejo nenhuma razão para que se recorra a uma lógica especial na tecnologia que não possa ser igualmente uma exigência para se fazer o mesmo na ciência; ou seja, não vejo porque uma lógica que sirva à ciência não pode servir também a tecnologia e vice-versa. Por exemplo, não entendo porque o que Bunge chama de "valores de efetividade" não possam ser simplesmente valores de verdade. Além disso, quando ele propõe que aquela espécie de implicação para regras -- simbolizada pelo conectivo "per" --, sugerindo que ela assuma três "valores de efetividade", de modo que a implicação seja indeterminada quando o antecedente não é satisfeito, Bunge está simplesmente definindo para a implicação, no caso ds regras, um significado mais próximo do sentido comum de implicação, onde a verdade da implicação não pode decorrer da falsidade do antecedente. Mas isto diz respeito à interpretação da implicação:

³ É curioso que Bunge não defina "'equieiciente'" como análogo a "equivalente", pois, da mesma forma que $(B \text{ per } A) \text{aeq}(\neg B \text{ per } \neg A)$, $(A \rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg B \rightarrow \neg A)$.

é possível interrogar qual o significado mais apropriado da implicação, tanto para a tecnologia quanto para a ciência. Qual o significado mais conveniente, o do senso comum ou o que predominou na lógica clássica -- onde $A \rightarrow B$ significa "não A ou B". A meu ver, não passaria de uma arbitrariedade dizer que o sentido de implicação da lógica é o mais adequado às leis (ou à ciência) e que o sentido comum de implicação é o mais adequado às regras (ou à tecnologia).

Bunge diz que a relação entre uma lei (científica) e uma regra (tecnológica) não é lógica, mas pragmática; ele afirma que, dada uma lei, não segue necessariamente uma regra, mas várias regras -- em princípio --, e que é preciso fazer tentativas⁴ para saber quais destas são eficientes. Isto ocorre, segundo Bunge, não apenas porque uma lei é falível, podendo vir a ser corrigida, o que acarretaria mudanças nas regras. O principal motivo pelo qual uma lei não acarreta necessariamente em regras determinadas, segundo Bunge, deve-se ao fato de que as leis costumam se referir a modelos muito idealizados para que possam corresponder a sistemas concretos. No caso da lei L, por exemplo, nada é dito a respeito da pressão, a qual, além da temperatura, pode ser relevante para a desmagnetização; além disso, nada é dito a respeito do problema tecnológico da construção de uma fornalha eficiente, rápida e de baixo custo e com uma composição química que não sofra alteração no contato com o ar enquanto estiver em operação. Bunge afirma por isso que

⁴ Bunge parece não gostar do emprego da palavra "teste" na tecnologia; ele afirma que testes são realizados na ciência, onde é possível controlar as condições nas quais o teste deve ser realizado, controlar adequadamente os parâmetros da situação experimental; na tecnologia, estes controles ficam extremamente prejudicados. Bunge tem razão, em parte. No entanto, a pesquisa experimental também faz parte da tecnologia, onde por vezes o controle das condições experimentais é até melhor que o feito na ciência.

o fato de uma lei ser verdadeira não garante que as regras que nela se apoiam sejam eficientes. No entanto, o argumento de Bunge parece-me falho neste ponto; para mim, se o modelo é idealizado demais⁵ para corresponder às situações concretas nas quais a regra será aplicada, como afirma Bunge, significa que a lei não é tão verdadeira quanto se pensa: a lei só é verdadeira em condições especiais -- ou ideais. Neste caso, a lei não serve de garantia para a regra porque não é verdadeira nas condições nas quais a regra será aplicada e não porque uma lei é algo essencialmente distinto de uma regra. Caso uma lei seja de fato verdadeira nas condições concretas nas quais uma regra apoiada nesta lei será aplicada, então creio que se pode dizer com segurança que a lei garante sim a eficiência da regra -- ao contrário do que afirma Bunge. Parece ser a insistência de Bunge em afirmar uma radical distinção entre leis e regras⁶ que o leva a defender argumentos que penso serem insustentáveis.

Além da tese de que da verdade das leis não segue a efetividade das regras, Bunge defende também a tese inversa: a efetividade das regras não fornece leis verdadeiras. A razão para isso é que uma regra, segundo Bunge, é compatível com um número indefinido de leis. Em seu exemplo anterior, Bunge afirma que uma regra como $R1 (B \text{ per } A)$ poderia ser satisfeita por uma infinidade de outras leis além de $A \rightarrow B$: $B \rightarrow A$, $A \wedge B$, $A \vee B$, $A \wedge B \wedge C$, $A \vee B \vee C$, $(A \vee B) \wedge C$, etc, onde C é uma fórmula qualquer. Embora admitindo que o argumento de Bunge deve funcionar em muitos casos, acredito que

⁵ Num outro ponto, ao qual me referi acima, Bunge afirmava que um certo refinamento na lei L era irrelevante para a maioria dos usos tecnológicos. Aqui, porém, ele afirma que o modelo ao qual uma lei se refere é que pode ser excessivamente idealizado em relação a um sistema concreto. Neste caso, como naquele, seu exemplo continua sendo o da lei L .

⁶ De modo análogo pelo qual Bunge insiste em distinguir entre natural e artificial.

isso não ocorra como uma regra geral. No caso de R1 e L, por exemplo, é difícil imaginar como a regra R1 possa ser pensada como compatível com B→A tanto quanto com L; parece-me difícil que alguém que, chegando à conclusão de que R1 vale, pudesse afirmar que R1 sugere B→A em vez de L. Pois B→A significaria, neste caso, "se um corpo se desmagnetizar, ele se aquece acima de seu ponto Curie", que parece um condicional não apenas improvável, mas até estranho; em todo caso, seria necessário ter algum indício concreto de que este condicional encontra algum apoio na realidade, um indício de que, para usar a terminologia de Bunge, este condicional é expressão de um "padrão objetivo ou lei"; é desejável inclusive, que esta possível lei tenha sido de algum modo testada, mesmo que sob a forma de um empirismo bastante prático.

Quando se dispõe de uma regra empírica efetiva, acredito que em geral se dispõe também de uma razoável idéia das coisas que funcionam ou não naquele contexto, em termos empíricos. Até que se chegue à obtenção de uma regra eficiente, foi provavelmente necessário tentar elaborar várias outras regras; mesmo o fracasso dessas tentativas acrescenta informações acerca do problema tratado. Neste caso, acredito que o conhecimento de uma regra efetiva pode às vezes sugerir uma "lei" científica: mais explicitamente, de uma lei empírica. Por isso, acho muito difícil concordar com Bunge quando ele diz que *tudo* o que uma regra eficiente pode fazer é apontar as possíveis variáveis do problema e levantar a questão da descoberta da relação entre essas variáveis; Bunge acredita que a única contribuição é a de *colocar* o problema de explicar a *aparente* eficiência da regra; ele acredita que o conhecimento de uma regra efetiva é inútil em termos teóricos -- ou aproximadamente inútil --, pois uma regra efetiva não sugere nenhuma lei ou teoria verdadeira, já que de um regra efetiva seria possível derivar um número indefinido de leis. Não posso concordar, porém, que as coisas ocorram sempre assim; conforme procurei argumentar, uma regra efetiva pode eventualmente sugerir uma "lei verdadeira"

(empírica). Uma regra efetiva pode vir acompanhada de uma certa compreensão das razões de sua eficiência -- e acredito que há de fato boas chances dessas coisas ocorrerem.

Na verdade, acredito que Bunge apoia-se aqui em mais uma de suas profundas convicções acerca da ciência e da tecnologia: ele atribui uma superioridade da teoria sobre a prática, e uma parcial mas importante dependência da prática em relação à teoria, enquanto que a dependência da teoria em relação à prática é, na opinião de Bunge, inexistente ou insignificante. Há uma assimetria na forma pela qual Bunge considera, de um lado, a influência das regras na inferência de leis e, de outro lado, a influência das leis na obtenção de regras: as regras são inúteis (ou quase) para a sugestão de leis "verdadeiras" porque cada regra sugere um número indefinidamente grande de leis; as leis, por sua vez, embora não implique diretamente em regras eficientes ou efetivas, sugerem um número limitado de regras, que podem ser adequadamente avaliadas na prática, o que torna as leis extremamente úteis e importantes, e até decisivas e indispensáveis, para a formulação de regras. Na verdade, acredito que tudo isso que Bunge afirma pode ser sintetizado em sua tese de que a *tecnologia é ciência aplicada*, enquanto a ciência é algo completamente distinto -- e hierárquicamente superior -- da tecnologia. Explico melhor: para Bunge, a ciência contribui decisivamente para a tecnologia, enquanto que esta última não contribui para a ciência -- ou o faz pobremente. É por isso que Bunge diz que os cientistas e os tecnologistas derivam regras de leis e teorias com o auxílio de outras informações específicas, enquanto que os técnicos aplicam essas regras, com o auxílio de seus conhecimentos técnicos (não-científicos). Fica claro portanto como, para Bunge, os conhecimentos fluem gradativamente da ciência para a tecnologia, enquanto que não há praticamente nenhum fluxo na direção inversa, caracterizando uma assimetria no relacionamento entre ciência e tecnologia. É certo que Bunge garante haverem conhecimentos imprescindíveis próprios da tecnologia; todavia, Bunge garante com a mesma ênfase que estes

conhecimentos nada têm de científicos -- eles são apenas pré-científicos.

No entanto, penso que há um enorme número de leis empíricas e experimentais, muito próximas do que Bunge denomina "regras", e que serve para descrever os fatos com muita precisão, uma precisão que várias vezes não encontra equivalentes nas leis fundamentais da ciência básica -- que são em muito menor número. Estas leis empíricas ou experimentais são abundantes na prática tecnológica -- e frequentemente derivam desta prática.

Bunge menciona o fato de que E. Mach interpreta a "lei de Galileu" -- que expressa a relação entre tempo e distância percorrida por um corpo em queda livre ($s = gt^2/2$) -- como uma regra, como uma generalização empírica que apenas substitui de maneira conveniente e econômica uma coleção de fatos individuais. Bunge certamente discorda de Mach, que neste caso não vê diferença entre uma lei e uma regra. Para Bunge, uma regra é essencialmente distinta de uma lei científica, uma regra é algo não-científico; na melhor das hipóteses, uma regra encontra-se fundada numa lei científica -- e isto é o que é desejável para uma regra tecnológica.

No entanto, não vejo nenhum impedimento para que uma lei seja considerada também uma regra e vice-versa. Talvez seja conveniente chamar uma lei de "regra", quando essa lei é utilizada numa atividade prática, numa prática tecnológica; do mesmo modo, talvez seja conveniente chamar uma regra de "lei", quando esta regra é pensada no contexto das teorias científicas. Assim, talvez fosse conveniente chamar de "regra" o que noutro contexto seria chamado de "lei" e vice-versa; nesse caso, seriam empregados dois nomes para designar basicamente a mesma coisa, conforme fossem distintos os contextos ou as atividades; mas isto não é o mesmo que considerar leis e regras como duas coisas essencialmente distintas. Por isso, não vejo impecilho para que a lei de Galileu seja considerada ou utilizada como uma regra. Pouco importa que uma lei empírica não possa ser deduzida de outras leis mais gerais. A própria lei de Galileu não era

dedutível de outras, quando foi proposta pela primeira vez.

5.3 - Layton e o conhecimento tecnológico

Layton [39] critica aqueles que negam haver na tecnologia um elemento cognitivo e afirmam que o conhecimento tecnológico é fornecido pela ciência.⁷ Segundo Layton, muitos do que defendem essa posição seguem Alexandre Koyré. Como seus seguidores, Koyré postula um modelo assimétrico da relação entre

⁷ Layton acredita que isto ocorre provavelmente em reação a historiadores marxistas. O exemplo clássico é a resposta de A. R. Hall a Edgar Zilzel. Na interpretação marxista de Zilzel, a revolução científica deve ser atribuída ao cientista, que para Zilzel era um *híbrido* que combinava o *empirismo artesanal* com o *pensamento acadêmico sistemático*; a barreira social entre estes dois componentes do método científico foi quebrada quando os métodos dos artesãos superiores foram adotados por homens que receberam formação acadêmica, dando origem à ciência.

A. R. Hall rejeita as teses de Zilzel. Para Hall, os métodos experimentais da ciência não derivam diretamente dos métodos dos artesãos, que consistem no ensaio-e-erro, na sorte e no acaso. Hall nega também que as leis científicas são uma ampliação e prolongamento das regras utilizadas pelos artesãos.

Hall tem razão ao afirmar que o método experimental da ciência não se resume ao ensaio-e-erro e ao progresso fortuito, mas penso que ele exagera quando afirma que a tecnologia progrediu apenas por ensaio-e-erro e ao acaso a metade do século dezanove. Também acredito que Hall engana-se em não reconhecer a aproximação entre as teorias e as *artes mecânicas* no início da Idade Moderna, numa época em que aquelas *artes* progrediram também em direção às teorias -- e não apenas no âmbito de seus avanços empíricos. (Ver Rossi [56], capítulo IV.) No entanto, Hall reconhece ao menos que os progressos empíricos da tecnologia influenciaram a ciência -- fornecendo novos problemas e instrumentação.

ciência e tecnologia. Koyré considera as diferenças entre ciência e tecnologia a partir da distinção platônica entre *epistème* e *techné*, o que elimina a possibilidade de se pensar no fluxo de conhecimento da tecnologia para a ciência. Mas, ao contrário de seus seguidores, Koyré considera a tecnologia como um sistema de pensamento próprio e indissociável da história intelectual. Para Koyré, o pensamento tecnológico baseia-se no *senso comum*, sendo distinto e independente do pensamento científico, apenas recebendo influência por meio da absorção e incorporação de elementos científicos ao *senso comum*. Essa influência, contudo, não se faz sentir diretamente, por meio da absorção dos resultados da ciência -- isto é, de suas leis e descobertas --; a influência é sobretudo indireta, sutil, como no caso da transposição, da ciência para a tecnologia, da idéia de que o mundo é governado por leis matemáticas, resultando numa alteração na própria estrutura do pensamento tecnológico. Koyré acredita também que, como um sistema de pensamento essencialmente distinto daquele da ciência, a tecnologia gera independentemente suas próprias regras, as quais constituem um corpo de teoria tecnológica; este corpo de conhecimentos sofre transformações fundamentais sob influência da ciência, mas sem reduzir-se simplesmente a *ciência aplicada à tecnologia*; este corpo distinto de conhecimentos Koyré denomina "*technologie*", que -- segundo Layton -- costuma ser designado em inglês pelas expressões "*technological science*" ou "*engineering science*".

Seguidores de Koyré, como A. R. Hall, vão mais longe, porém. Para eles, todo conhecimento provém da ciência, o que significa que a tecnologia não produz novos conhecimentos, limitando-se a aplicar conhecimentos gerados fora dela. Para Hall, enquanto que as modernas regras tecnológicas são simplesmente simplesmente ciência aplicada, as regras tecnológicas anteriores -- isto é, antes da segunda metade do século XIX -- não passavam de regras práticas ou de cânones estéticos.⁸ A fim de

⁸ Hall pretendia com isso rejeitar a afirmação de Zilzel,

apresentar um modelo alternativo de relacionamento entre ciência e tecnologia, Layton considera o conhecimento tecnológico a partir do *projeto*. Para ele, o projeto é uma habilidade, cuja função é construir uma ponte entre, de um lado, as idéias e, de outro, as coisas e os processos; projetar é adaptar meios disponíveis a fins almejados. O pensamento ou conhecimento tecnológico tem por objetivo a geração e o fornecimento dos meios que ficarão disponíveis para a obtenção das metas, e através do projeto. O pensamento ou conhecimento tem por função fornecer subsídios ou meios para o projeto.

Portanto, o projeto é mais a habilidade -- de utilizar conhecimentos para alcançar determinados objetivos humanos práticos --; não é um conhecimento científico. A interação entre ciência e tecnologia encontra-se sobretudo na parte teórica da tecnologia -- a qual fornece subsídios para o projeto, constituindo sua base racional. Essa parte teórica da tecnologia pode ser encontrada desde a antiguidade⁹, e consiste nos *princípios racionais e nas construções teóricas da tecnologia*, tendo se transformado em época mais recente em corpos sistemáticos de conhecimento, podendo ser quase considerados ciências -- as chamadas "technological sciences". Layton considera que esses princípios racionais e construções teóricas têm as *regras tecnológicas* como elementos constituintes. E as regras tecnológicas, segundo Layton, têm como função fornecer uma base racional para o projeto; a função dessas regras não é permitir ao homem conhecer o universo -- e sim agir sobre ele. Para Layton, as leis da ciência referem-se à natureza, enquanto que as regras tecnológicas referem-se ao artifício humano. A diferença entre ciência e tecnologia, portanto, não está no plano das idéias, mas dos valores: a ciência valoriza o conhecimento,

segundo o qual as regras tecnológicas foram os *embriões* das leis da natureza.

⁹ Layton pensa, neste ponto, no artigo de Hacker [24].

enquanto a tecnologia valoriza a ação. Para Layton, a diferenciação deve ser considerada em termos sociais, em termos de comunidades distintas que priorizam valores diferentes: a comunidade científica valoriza mais o conhecimento, a tecnológica, a ação. Mas, como a diferenciação se dá em termos de valores sociais, Layton afirma que não há nenhuma dificuldade em reconhecer que o conhecimento pode fluir de uma comunidade que prioriza a ação para outra que prioriza o conhecimento. Dessa maneira é que Layton pretende apresentar uma alternativa ao modelo assimétrico de relacionamento entre ciência e tecnologia.

Tenho bastante simpatia pela posição de Layton, especialmente por sua defesa de um modelo da relação entre ciência e tecnologia no qual o conhecimento *pode* ser gerado pela tecnologia -- bem como ser, então, transferido para a ciência. Mas penso que Layton não conseguiu libertar-se totalmente do modelo assimétrico que ele mesmo critica. Embora discordando de Koyré, quando este último propõe um modelo assimétrico da relação entre ciência e tecnologia, Layton retém um elemento fundamental daquele modelo: como Koyré, Layton acredita haver na tecnologia um corpo de conhecimentos racionais constituído basicamente pelas regras tecnológicas, formando uma *teoria tecnológica*. Este corpo de conhecimentos expressos pela teoria tecnológica distingue-se, como em Koyré, do conhecimento científico, com o qual o conhecimento tecnológico interage, mas sem perder sua independência. Este é o ponto no qual penso que Layton falha: ele concebe o conhecimento tecnológico como independente do científico, estabelecendo entre eles uma distinção epistemológica essencial e irreconciliável; para Layton, as regras tecnológicas -- que constituem as teorias tecnológicas -- têm a função de fornecer uma base racional para os projetos de tecnologia, ao contrário das leis ou teorias científicas, cuja função é possibilitar o conhecimento do universo. Para Layton, as leis da ciência referem-se à *natureza*, e as regras tecnológicas, ao *artifício* humano. Neste ponto, portanto, Layton postula -- ou ao menos parece postular -- uma distinção epistemológica essencial e

irreconciliável entre conhecimento tecnológico e conhecimento científico, inclusive apoiando esta esta distinção naquela outra entre natureza e artifício, que remonta à distinção clássica entre *techné* e *epistémé*. Ironicamente, Koyré é criticado por Layton justamente ao recorrer à distinção platônica entre *techné* e *epistémé*.

No entanto, de um modo algo paradoxal, Layton aparentemente também pretende negar a distinção epistemológica, situando as diferenças num outro plano: ele afirma que tanto a tecnologia quanto a ciência produzem conhecimento, e que a distinção entre ciência e tecnologia deve ser vista em termos sociais, como uma distinção entre comunidades com diferentes valores, uma priorizando o conhecimento, outra a ação.

* *

Em outro artigo [38], Layton fornece maiores indicações acerca do que ele entende por regras tecnológicas. Para isso, Layton refere-se a John Smeaton, o célebre engenheiro britânico da século dezoito. Segundo Layton, Smeaton obteve um conjunto de "máximas" ou "princípios de projeto" a partir de seus métodos experimentais de ciência. Layton cita dois destes "princípios": num deles, o "efeito" numa roda d'água de ação conhecida é correlacionado à "quantidade de água gasta" e ao quadrado da velocidade; no outro, o "efeito" conhecido numa roda d'água de reação é correlacionado à abertura pela qual a água flui e ao cubo da sua velocidade.¹ Layton afirma que estes "princípios" não

¹ Infelizmente, o próprio Layton não esclarece o que significam os termos que aparecem nestas "máximas" ou "princípios". Acredito que eles signifiquem o seguinte: "efeito" (conferir item 3.4) é um precursor do conceito de trabalho, e designa o produto da força de um elemento por sua velocidade -- seja esse elemento agente ou paciente --; "quantidade de água gasta" significa com certeza a vazão na roda d'água; a velocidade deve ser a da corrente d'água.

podem ser classificados como leis da natureza; para ele, trata-se de "máximas" que apenas possuem a aparência e a forma de leis, mas sem serem leis de fato; são "quase-leis" ("lawlike") e referem-se a instrumentos feitos pelo homem -- artefatos. Layton afirma também que tais "princípios" não são deduções lógicas obtidas a partir da ciência mecânica; em contrapartida, esses princípios constituíram, segundo Layton, "o germe de uma nova ciência tecnológica".

No entanto, o que Layton chama de "regras tecnológicas", "princípios de projeto", ou até de "máximas", pode perfeitamente se designar leis científicas -- desde que descrevessem corretamente os fenômenos em questão. O fato de os modelos destas teorias se referirem exclusivamente a artefatos em nada impede isto, pois artefatos fazem parte da natureza, e as leis que descrevem seu comportamento são leis científicas, mesmo quando exclusivamente empíricas ou experimentais. E não importa se o artefato descrito é uma roda d'água, um aparelho de TV ou um "laser". Uma consequência previsível da exclusão dos "princípios de projeto" da classe das "leis da natureza é a afirmação de Layton de que os princípios de projeto como os de Smeaton constituíram o germe de uma nova ciência tecnológica. Em toda a obra de Layton, o conhecimento tecnológico encontra seu ponto mais elevado justamente com as regras tecnológicas, com os princípios de projeto, com as "teorias tecnológicas", que constituem o núcleo dos conhecimentos racionais específicos da tecnologia moderna. Essas teorias tecnológicas constituem o que ele chama de "ciências da engenharia" ("engineering sciences") ou de "ciência tecnológica". Para ele, as ciências tecnológicas são distintas das ciências -- epistemologicamente distintas, ele quer dizer. No entanto, de acordo com Layton, ciências naturais e ciências tecnológicas vivem numa autêntica "simbiose", numa interação, o que quer dizer que há reciprocidade na contribuição de umas para as outras. Para Layton, é nas ciências tecnológicas que se concentram as relações entre ciência e tecnologia.

* *

É interessante observar em mais detalhes o conceito de ciência tecnológica proposto por Layton. Em [40], Layton enfoca os interessantes pontos de vista de dois engenheiros americanos do século dezanove, Benjamin F. Isherwood e Robert. Thurston, a respeito das relações entre ciência e tecnologia. De acordo com Layton, estes dois engenheiros foram pioneiros no desenvolvimento de uma ciência peculiar da engenharia. Isherwood e Thurston negavam conscientemente que a ciência da engenharia ("engineering science") podia ser reduzida à aplicação das leis da ciência básica.

Isherwood envolveu-se numa disputa filosófica a respeito da natureza da ciência e de sua relação com a tecnologia a partir de uma controvérsia acerca da expansão do vapor d'água: alguns inventores fizeram certas afirmações sobre o uso da expansão do vapor em aparelhos como os engenhos a vapor. Essas afirmações baseavam-se em argumentos dedutivos derivados da lei de Boyle-Mariotte. Isherwood objetava que a aplicação de leis científicas em problemas de engenharia constituía uma *abstração* e *idealização* que possivelmente não descreveria o mundo concreto como ele realmente é -- no caso, os engenhos a vapor reais. Para Isherwood, a teoria em questão não passava de "pura e simples abstração", pois postulava uma elasticidade perfeita dos gases e vapores, uma propriedade que se manteria inalterada independentemente de quaisquer "condições da matéria ou do engenho a vapor". Isherwood insistia em que se deveria considerar "as condições físicas de um problema prático"; ignorar essas condições só conduziria a uma sucessão de falhas e erros, como resultado da adoção de "suposições imaginárias".

Layton observa que Isherwood procurou justificar e desenvolver sua posição a partir do empiricismo, o de Bacon e o de Hume, e da filosofia escocesa do senso comum. Para Isherwood, uma teoria podia ser construída de maneira indutiva ou dedutiva, mas só a abordagem indutiva era realmente adequada. Por isso, a teoria da expansão baseada na lei de Mariotte era falsa: sendo

dedutiva, a teoria partia de uma "idealização e abstração *a priori*", que consistia na idéia de uma elasticidade perfeita para os gases. Para Isherwood, o método correto para a ciência, para a construção de uma teoria consistente, partia da da indagação acerca "do valor de toda quantidade através da medição direta". Isherwood: "não devemos procurar pela verdade física em abstrações metafísicas, mas na conexão subsistente nos fenômenos naturais". Seguindo Hume, Isherwood argumentava que "uma investigação sobre causas é de todo vã e fútil", ainda que às vezes seja conveniente utilizar a linguagem da causação. Para Isherwood, a tarefa da ciência é apenas a descoberta de leis, as quais nada mais são senão a generalização de fatos. Por isso, as leis deveriam ser descobertas por meio da medição, da redução de dados a tabelas; finalmente, "dessas tabelas podemos obter leis gerais partindo gradualmente das particularidades para as generalidades".

Isherwood entendia como tarefa da engenharia a simples coleção de estatísticas originais, a partir das quais deveriam ser derivadas leis gerais. Mas Isherwood pensava o mesmo a respeito da ciência: a ciência não era nada mais que uma "coleção de estatísticas". Neste ponto, Isherwood pretendia fazer coincidir ciência e engenharia. Além do mais, Isherwood tinha um conceito fortemente utilitário de ciência; uma teoria era consistente, em sua opinião, quando permitia sua aplicação prática.

Isherwood identificava uma espécie de "princípio de incerteza" como um elemento diferenciador da ciência praticada na tecnologia daquela praticada na "ciência pura". Na "ciência pura", um único caso positivo pode ser suficiente; mas na engenharia as situações são complicadas, pois os efeitos são produzidos simultaneamente por muitas "causas naturais" e influenciados por uma variedade de circunstâncias; por isso, na engenharia, as generalizações devem ser obtidas a partir de "grupos de fatos" e não apenas de "fatos singulares". Além do mais, na engenharia deve-se ter em conta os efeitos de escala e

as condições da prática, isto é, as conclusões devem ser obtidas a partir de experimentos realizados e sob as condições e escala da prática real. Em resumo, na engenharia, as investigações precisam ser menos idealizadas e menos abstratas.

Layton afirma que a posição de Isherwood, que foi um dos pioneiros no desenvolvimento de uma ciência peculiar da engenharia, implicava numa aproximação maior entre ciência natural e ciência da engenharia. Mas segundo Layton, embora Isherwood considerasse a ciência da engenharia como uma parte integrante da ciência, ele a tinha como uma disciplina autônoma e distinta. Layton sugere que Isherwood via a ciência dividida em duas; a "ciência pura" e a ciência da engenharia. No entanto, tenho dúvidas se esta era de fato a posição de Isherwood ou esta é antes a interpretação que Layton faz de Isherwood. Talvez, para Isherwood, a "ciência pura" fosse apenas uma das maneiras de se fazer ciência, e a maneira errada -- apriorística, idealizada, abstrata e dedutiva. A boa ciência, ao contrário, deveria dar conta dos fenômenos complexos encontrados nas situações concretas, como se faz na engenharia. Assim, a ciência poderia ser praticada de duas maneiras, uma representando a verdadeira, a boa ciência, como a praticada na engenharia, outra a má ciência, praticada na "ciência pura", na qual o sucesso restringe-se a casos especiais, a resultados válidos apenas para exemplos singulares. Portanto, Isherwood parecia ser um indutivista ingênuo.

Os argumentos que Layton utiliza, para mostrar que Isherwood considera a ciência da engenharia uma parte autônoma e distinta contida na ciência, são basicamente os mesmos que o próprio Layton utiliza para defender esta tese. De acordo com Layton, as leis gerais que Isherwood obtia a partir de suas tabelas estatística não eram extamente enunciados acerca da natureza, mas antes "regras para o projeto de objetos feitos pelo homem". Por isso, se por um lado Isherwood restringia as leis da ciência a tábuas de estatística, de outro, segundo Layton, ele estendia o domínio das leis científicas ao incorporar a elas os

princípios da engenharia (que servem ao projeto). Quando Isherwood critica a "ciência pura" por basear-se apenas em casos singulares, em vez de considerar a complexidade encontrada nas condições reais, ele está claramente criticando a idealização e abstração; mas Layton acredita também que o argumento de Isherwood assume *implicitamente* que a engenharia lida apenas com máquinas e, como "os engenheiros não podem eliminar as complexas interações de fatores físicos que ocorrem nas máquinas", Layton conclui que Isherwood pensa que a ciência da engenharia deve ser um tanto diferente da física -- quer dizer, a ponto de ser não apenas distinta, mas também autônoma em relação à física.

De acordo com Layton, Robert Thurston também considerava a "tecnologia como uma parte integral mas distinta da ciência" e entendia que a ciência devia ser empírica e utilitária. Thurston era cético e crítico quanto à aplicação de teorias na prática. Thurston criticava o trabalho que ele considerava excessivamente teórico e pouco prático de W. J. M. Rankine, que pretendia aplicar a teoria termodinâmica como guia para o projeto de máquinas térmicas. As críticas dirigiam-se contra a excessiva abstração de Rankine, que Thurston acusava de estudar o engenho ideal em vez de ocupar-se com a teoria do "engenho real".

Para Layton, Isherwood e Thurston estavam entre os pioneiros que "transplantaram a ciência de sua morada na filosofia para a tecnologia", criando instituições similares às da ciência e adaptando "a teoria matemática e os métodos experimentais da ciência às necessidades da engenharia". Mas essa transposição alegada por Layton não foi uma imitação direta: a cultura tecnológica procurou seguir a científica, mas à sua própria e peculiar maneira, mantendo assim a distinção entre elas.

* *

Layton apresenta ainda outros argumentos em favor de seu conceito de ciências da engenharia.

Em [38], Layton comenta os esforços de um cientista do

século dezenove, James Renwick, que escreveu dois livros com a intenção de construir uma ponte entre a ciência e as artes -- isto é, as técnicas. No primeiro livro Renwick estabelecia de forma convencional os princípios da ciência mecânica, os quais ele pretendia utilizar no segundo livro, para derivar todo tipo de aplicações na tecnologia mecânica e com isso auxiliar decisivamente no projeto de quaisquer aparelhos mecânicos. Mas, segundo Layton, Renwick não alcançou seu intento: sua abordagem da tecnologia mecânica no segundo livro de forma alguma era derivada dos princípios científicos expostos no primeiro. Os princípios expostos no primeiro livro eram de pouco valor para o trabalho dos mecânicos práticos.

Para Layton, longe de constituírem uma unidade, os "dois livros de Renwick apontavam para duas formas distintas de desenvolvimento tecnológico": uma, apoiada diretamente sobre a ciência, sugeria a extensão da ciência mecânica de modo a criar novas ciências tecnologicamente orientadas, como a resistência dos materiais e a hidráulica; outra, seguindo o caminho sugerido por Seaton, deveria partir de técnicas práticas existentes para a criação de novas ciências, através da utilização dos métodos da científicos. Layton entende que uma nova ciência da engenharia -- que integra a ciência mas mantém sua autonomia e distinção¹¹ -- surgiu gradativamente da convergência destas duas formas de desenvolvimento tecnológico.

Segundo Layton, alguns poucos inventores ajudaram a desenvolver a ciência da engenharia, seja através da aplicação das leis científicas à prática, seja por meio da aplicação de

¹¹ Esta tendência a dividir a ciência em básica, por um lado, e tecnológica, por outro, afirmando ao mesmo tempo que as ciências tecnológicas são relativamente autônomas e independentes, não é privilégio de Layton, Rapp [52], por exemplo, afirma que a esfera da ciência divide-se em duas outras apenas parcialmente justapostas, a científica e a tecnológica -- que preserva, segundo Rapp uma relativa autonomia epistemológica.

métodos científicos na tecnologia -- como a descoberta de princípios fundamentais, a dedução a partir desses princípios e o teste experimental dos resultados. Mas, de acordo com Layton, os inventores em geral não possuíam a qualificação necessária para o desenvolvimento das ciências da engenharia. Já os cientistas, que possuíam essas qualificações, forneceram contribuições fundamentais para o desenvolvimento das ciências da engenharia. No entanto, aos cientistas faltava a intimidade com os problemas da tecnologia e, por essa mesma razão, faltava-lhes a compreensão das necessidades e exigências próprias da tecnologia, no que diz respeito ao conhecimento. Por isso, conclui Layton, foram os próprios engenheiros que tiveram de desenvolver sozinhos a maior parte do que Layton chama de "ciências da engenharia".

Para Layton, no século dezenove as ciências da engenharia já constituíam um complexo sistema de conhecimento, variando desde a coleção de regras práticas até as ciências mais disciplinas sistemáticas, como a resistência dos materiais, tudo isso formando o sistema unificado das ciências da engenharia. Layton observa, de um lado, que aquelas ciências da engenharia derivadas da prática foram absorvendo da ciência qualidades como a organização sistemática, a confiança nos experimentos e o desenvolvimento de teorias matemáticas. De outro lado, convergindo para as disciplinas derivadas da prática, ciências como a resistência dos materiais e a hidráulica, que fundamentavam-se diretamente na ciência, sendo por vezes consideradas como ramos da física, iam pouco a pouco assumindo características de ciências tecnológicas autônomas, divergindo gradualmente da física.

Neste ponto, porém, devo expressar minha discordância quanto a alguns pontos da posição de Layton. É difícil ver porque a organização sistemática seja uma qualidade própria da ciência mas não da tecnologia, de modo que a tecnologia tivesse de obter essa qualidade apenas a partir da ciência. Também a confiança nos experimentos não pode ser considerada própria da ciência e não da tecnologia. Muitos métodos experimentais são mais

familiares à tecnologia que à ciência. Muitos afirmam que própria ciência experimental desenvolveu-se a partir de uma maior aproximação com a tecnologia e seus métodos -- e esta me parece ser uma tese convincente. Por outro lado, não entendo que a resistência dos materiais, por exemplo, tenha gradualmente divergido da física, assumindo características de uma ciência tecnológica autônoma distinta da física. Pelo contrário, penso que a resistência dos materiais sempre se constituiu como uma teoria da física. É verdade que a suposição básica da continuidade da matéria foi definitivamente abandonada com a afirmação da física atômica. A resistência dos materiais passou a ser vista como falsa; no sentido de que já não se aceitava mais que a hipótese da continuidade da matéria pudesse ser verdadeira. Mas a resistência dos materiais ou seus desdobramentos -- a mecânica do meio contínuo ou mecânica dos sólidos -- continua apresentando resultados válidos e verdadeiros a nível macroscópico. Utilizando a terminologia de Cartwright [13], a mecânica dos sólidos ou mecânica do contínuo é constituída de leis fenomenológicas, descrevendo bastante bem os fenômenos macroscópicos a que se refere. E, apesar das reiteradas esperanças de que a leis da mecânica dos sólidos venham a ser derivadas das leis fundamentais da física, o fato é que, ao menos até o momento, isso ainda não foi possível.¹²

¹² Fung [20] observa que a mecânica dos sólidos constitui um dos ramos mais importantes da física clássica. Sua origem reside nas clássicas teorias da resistência dos materiais e da elasticidade; mas, além delas, a mecânica dos sólidos inclui atualmente a termodinâmica dos sólidos, a termoelasticidade, a viscoelasticidade, a plasticidade e a teoria das deformações finitas.

Segundo Fung, "um dos mais ambiciosos programas de pesquisa da física matemática é derivar as relações entre tensão, deformação e outras características físicas de um material [que constituem o objeto de estudo da mecânica dos sólidos,] das

Layton, porém, vê as coisas de um modo bastante diferente. Ele observa que a dificuldade de se tratar os materiais era um obstáculo para o desenvolvimento da tecnologia, mas que no século dezenove o estudo científico das propriedades dos materiais, como o ferro e o aço, ganhou grande impulso com a maturação da ciência da engenharia, representada, neste caso, pela resistência dos materiais e teoria da elasticidade. Layton admite que desde Galileu os cientistas colaboraram para o desenvolvimento da resistência dos materiais, mas firma que só quando esta disciplina foi transposta da comunidade da ciência para a da tecnologia é que ela ampliou sua utilidade tecnológica, passando seu desenvolvimento para as mãos dos engenheiros. Neste ponto, de acordo com Layton, os laços da resistência dos materiais com a física enfraqueceu-se, e esta disciplina "desenvolveu-se de modos estranhos aos da ciência básica". O núcleo do argumento de Layton é que cientistas tendem a se referir a "entidades mais fundamentais, como átomos, éter e

propriedades das partículas elementares constituintes". No entanto, este programa de pesquisa da mecânica estatística ainda se encontra num estágio inicial.

A outra abordagem é a que foi tradicionalmente utilizada na mecânica dos sólidos: a determinação experimental das relações físicas. Neste caso, observa Fung, certas leis gerais caracterizando um material são obtidas a partir dos resultados dos experimentos, por meio de abstrações que permitem dispor em leis matemáticas os fatos observados. Depois de formuladas tais leis, torna-se possível propor e resolver matematicamente novos problemas, e novos experimentos podem ser propostos para checar a acurácia dessas leis. Caso satisfatórias, essas leis poderão então ser utilizadas na resolução de problemas de engenharia.

Esta abordagem proposta por Fung, de obtenção de leis a partir de resultados experimentais, através de abstrações, parece sugerir algum procedimento mais ou menos indutivo. (Ver capítulo VI).

forças", isto é, a entidades que nem sempre podem ser "observadas diretamente". Os engenheiros interessados em projetar devem lidar com entidades mensuráveis, as quais não precisam ser fundamentais no sentido da ciência. Alguns cientistas, como Young, Coulomb¹³ e Poisson, continua Layton, contribuíram para resistência dos materiais, procurando assentá-la na mesma "base ontológica da mecânica clássica", tentando "explicar seus resultados em termos de moléculas e forças entre elas". Alguns engenheiros tentaram ainda seguir este caminho, que no entanto terminou sendo abandonado, por consistir numa complicação desnecessária do ponto de vista da tecnologia, segundo Layton. Em vez disso, os engenheiros contentaram-se com modelos macroscópicos simples -- como o que considera que uma viga é constituída por um feixe de fibras.

No entanto, como eu disse, até hoje ninguém conseguiu derivar as leis da mecânica dos sólidos das propriedades das partículas elementares, e esse constitui de fato um ambicioso programa de pesquisa da física matemática, de acordo com Fung [20]. Portanto, o abandono da tentativa de fundamentar a resistência dos materiais nas propriedades atômicas e moleculares não se deve simplesmente a uma preferência de engenheiros por entidades mais práticas e mensuráveis. O que ocorreu é que aquela foi superada por outra tentativa mais bem sucedida, que assumia apenas a continuidade da matéria, um sucesso que até hoje não foi igualado pelos que pretendem derivar mecânica dos sólidos das propriedades das partículas elementares.

De qualquer maneira, não é verdade que os engenheiros não façam referência a entidades que não podem ser diretamente observadas. Pois a resistência dos materiais não pode prescindir de entidades como "forças". De fato, a resistência dos materiais é impensável sem o conceito de força. Também é inteiramente falso

¹³ Na verdade, Coulomb, o mesmo que contribuiu para a eletricidade e magnetismo, formou-se em engenharia e foi um engenheiro de fortificações profissional.

que entidades que não podem ser diretamente observadas não são mensuráveis -- as forças são um exemplo claro disto.

Utilizando o jargão filosófico, pode-se dizer que Layton defende a tese de que as teorias científicas fazem referência a entidades não-observáveis, enquanto que as teorias das ciências da engenharia referem-se somente a entidades observáveis. Mas se isso fosse verdade, o exemplo de teoria tecnológica preferido de Layton não seria uma teoria tecnológica, pois a resistência dos materiais e a teoria da elasticidade fazem referência a forças, que não são (diretamente) observáveis. É preferível então dizer que as leis da resistência dos materiais são leis fenomenológicas, e que pertencem à ciência. E não importa que tenham sido formuladas ou descobertas por engenheiros.

Layton insiste que a ciência da engenharia é mais quantitativa, e que a ciência é mais qualitativa, preocupando-se com as "entidades fundamentais", referindo-se ao não-observável. Mas, neste caso, seria preferível dizer que a engenharia dá mais ênfase às leis empíricas, fenomenológicas, que são mais detalhadas, precisas e específicas, enquanto dão menos ênfase às leis fundamentais do que ocorre na ciência básica -- a qual também se ocupa com as leis fenomenológicas.

Desta forma, não seria preciso afirmar a existência de ciências da engenharia autônomas e distintas em relação às ciências básicas.

* *

Layton observa que a teoria da resistência dos materiais não era suficiente para a resolução da maior parte dos problemas de maior interesse para a engenharia, fosse porque as soluções matemáticas não eram conhecidas, fosse porque as incógnitas de um problema superavam o número de equações conhecidas para o problema. Por isso, segundo Layton, as abordagens mais teóricas perderam algum terreno na engenharia, em favor de outros métodos menos rigorosos. Esta situação foi

responsável por impelir a resistência dos materiais para direções distintas daquelas seguidas pela física, conclui Layton.

Para ele, uma das maneiras através da qual a resistência dos materiais começou a divergir da física, em decorrência da insuficiência da teoria, foi o recurso ao emprego de métodos empíricos que utilizavam modelos físicos e medidores de deformação.

No entanto, tenho sérias dúvidas de que o emprego de modelos físicos, a realização de medições e o emprego de métodos empíricos induzam a um distanciamento em relação à física. Afinal, todos estes recursos podem desempenhar um papel importante na física. É certo que, ao procurar resolver um problema prático imediatamente -- por meio de métodos empíricos e de mensurações em modelos físicos que procuram imitar o objeto a ser projetado --, o desenvolvimento teórico pode ser deixado de lado, provisoriamente. Mas os métodos empíricos refinados a que Layton se refere provavelmente fornecem resultados precisos e detalhados, melhores do que os que poderiam ser obtidos com a utilização das teorias disponíveis. E resultados precisos e detalhados não se opõem à física, pelo contrário. Além do mais, resultados empíricos precisos e detalhados podem servir de subsídio para pesquisas teóricas posteriores e, quem sabe, talvez possam proporcionar alguma inspiração teórica.

Outro ponto através do qual a resistência dos materiais começou a diferenciar-se da física, segundo Layton, consistiu no desenvolvimento de métodos gráficos. Layton cita como exemplo um método gráfico de grande importância na resistência dos materiais, para o qual a maior contribuição foi efetuada pelo engenheiro germânico Otto Mohr. Layton afirma que métodos gráficos como o de Mohr são menos rigorosos que os teóricos. No entanto, os resultados em questão, os célebres círculos de Mohr, podem ser rigorosamente demonstrados na teoria da resistência dos materiais e da elasticidade.¹⁴

¹⁴ Fung [20], p 79.

Outro motivo pelo qual a resistência dos materiais foi levada a distanciar-se da física, de acordo com Layton, retorna a sua tese equivocada de que as teorias das ciências da engenharia, ao contrário das teorias da física, não fazem referência a não-observáveis. Neste ponto, o argumento de Layton encontra barreiras insuperáveis. Layton refere-se à tentativa de Herman Haupt de estabelecer uma teoria matemática geral que pudesse orientar a construção de pontes. Baseando-se fortemente nas suposições de cientistas como Thomas Young, Haupt confiava que tensões pudessem ser reduzidas a forças entre partículas. Por isso, segundo Layton, Haupt pensou em utilizar um recurso que pode ser aplicado às forças: substituir as tensões atuantes numa determinada área por uma força resultante, aplicada no centro de gravidade dessa área. Layton comenta que, embora Haupt tenha proposto algo melhor do que as regras práticas ofereciam, trava-se apenas de uma aproximação. Layton afirma que não era possível reduzir as tensões a uma única resultante, porque tensões não são forças. Ele faz referência ao fato de que as tensões normais atuantes numa superfície são sempre acompanhadas de tensões de cisalhamento. Por isso, na opinião de Layton, tensões não podem ser tratadas como forças: "forças comportam-se como vetores, mas tensões comportam-se como tensores". Layton parece querer sugerir então que forças pertencem à classe de entidades fundamentais de que trata a física, enquanto que a ciência da engenharia trata de entidades como as tensões.

No entanto, o que há aqui é apenas alguma confusão. Layton fala indistintamente de tensão, quando na verdade este termo assume significados distintos no contexto da mecânica do contínuo: o *vetor tensão* e o *tensor tensão*. Quanto ao *vetor tensão*, Layton tem razão, num certo sentido: o *vetor tensão* não é simplesmente força, mas *força por unidade de área*. No entanto, o *vetor tensão* é obviamente um vetor, e pode receber o mesmo tratamento reservado às forças -- pois o *vetor tensão* expressa força por unidade de área. O *tensor tensão*, por sua vez, expressa as *componentes tensoriais* do *vetor tensão* -- numa superfície

infinitesimal -- no sistema de coordenadas adotado. Porém, as componentes tensoriais, em geral, não coincidem com as componentes físicas do vetor tensão. Ou seja, em geral, as componentes físicas de um vetor tensor não constituem um tensor. Por exemplo, num sistema de coordenadas polares cilíndricas, uma das dimensões é um ângulo; neste caso, as componentes tensoriais do vetor tensão sequer terão as mesmas dimensões e as componentes físicas desse vetor no sistema de coordenadas em questão não constituirão um tensor. No caso particular do sistema de coordenadas cartesianas, porém, as componentes tensoriais coincidem com as componentes físicas do vetor tensão, constituindo um tensor. Como se vê, é impensável que uma disciplina como a mecânica dos sólidos, que constitui um dos ramos da mecânica clássica, possa ser considerada autônoma e distinta da física. Se Layton pretende defender a tese de que as ciências da engenharia constituem uma ciência autônoma e distinta da física, em vez de admitir -- como penso ser o caso -- que elas constituem uma parte da física, então ele precisa recorrer a outros argumentos, deixando de lado esta afirmação de que as ciências da engenharia, ao contrário da física, não fazem referência a não-observáveis. Em seu desenvolvimento, a resistência deixou de lado os átomos, mas jamais pode prescindir das forças.¹⁵

As ciências tecnológicas utilizam os mesmos métodos das ciências básicas, apenas a ênfase e o valor de cada método é que varia. Considero importante reter um conceito de ciência tecnológica, mas entendida como uma parte integrante da ciência, ainda que com suas nuances próprias.

* *

Layton discute outro exemplo. O físico Henry Rowland -- cuja formação era em engenharia -- publicou em 1873 um artigo sobre permeabilidade magnética no *Philosophical Magazine*. Por

¹⁵ Sobre estas questões, consultar, por exemplo, Fung [20].

outro lado, o engenheiro Francis Hopkinson publicou, em 1879, os resultados de sua investigação acerca da eficiência dos dinamos elétricos, onde ele descobriu a "curva característica" do dínamo de corrente contínua ao colocar seus resultados numa forma gráfica. Esta "curva característica" era decisiva para o projeto racional de dinamos de corrente contínua, pois permitia uma melhora radical do desempenho desses dinamos por meio de uma simples alteração nas dimensões de algumas de suas partes. Layton observa que somente muitos anos mais tarde é que percebeu-se que Rowland e Hopkinson, "num certo sentido", haviam feito a mesma descoberta.

Layton pretende utilizar esta constatação tardia de que Rowland e Hopkinson haviam descoberto a mesma coisa em favor de sua tese de que há uma diferenciação intrínseca entre o conhecimento e o tecnológico. Layton argumenta que Rowland não percebeu que havia descoberto algo vital para o projeto de dinamos elétricos porque -- a despeito de seu laboratório ser um importante centro treinamento para engenheiros elétricos -- ele procurava "por uma lei da natureza, não um princípio de projeto". A preocupação de Rowland era com a física e, por isso, o que era apropriado para sua investigação era encontrar "a relação entre as entidades da teoria eletromagnética". Hopkinson, porém, como engenheiro, devia procurar a relação "entre parâmetros básicos da engenharia, tais como a entrada e saída de um dínamo". O "método de abordagem, o argumento e a forma de apresentação", segundo Layton, era, em cada caso, os mais apropriados em razão dos objetivos e do público alvo para o qual se dirigiam as publicações dos resultados. No entanto, os resultados de cada caso "podiam ser considerados equivalentes, porque as *variáveis de engenharia* de Hopkinson podiam ser expressas como funções das entidades eletromagnéticas empregadas por Rowland".

Parece-me, portanto, que Layton acaba mostrando o inverso do que pretende. Se os resultados de cada caso podem ser considerados equivalentes, isto parece indicar que as ciências tecnológicas fazem parte da ciência.

* *

Outro exemplo: Layton comenta que a termodinâmica surgiu a partir de um princípio de projeto formulado por Carnot. Para Layton, este princípio era apenas uma proposição que estabelecia os limites de eficiência do engenho a vapor, e *não uma lei da natureza*. Pois o princípio de Carnot apoiava-se num simples modelo *macroscópico* -- o engenho de calor ideal de Carnot --, sem se apoiar nenhuma *hipótese molecular*. Para Layton, foram os "engenheiros-cientistas" como Kelvin, Rankine e Helmholtz que "*traduziram*" aquelas proposições que nada mais eram princípios de projeto para a linguagem da ciência. E, "à medida a termodinâmica era absorvida pela física, o engenho ideal de calor de Carnot tendia a ser substituído pelo modelo molecular da mecânica estatística".

No entanto, penso que Layton deveria explicar em que precisamente o "princípio de projeto" de Carnot difere de uma "lei da natureza"? Com efeito, o "simples princípio de projeto" formulado por Carnot, ao qual Layton se refere, exprimia o primeiro esboço do segundo princípio da termodinâmica. As vagas e confusas distinções que Layton estabelece entre "leis da natureza" e "princípios de projeto" de modo algum parecem-me convincentes, neste ponto.

* *

Em [40], Layton afirma que entre a ciência básica e a ciência da engenharia existe uma diferenciação similar à existente entre a física e a química, ou entre a física e a biologia. No entanto, vejo dificuldades nesta afirmação. As diferenças que Layton acredita existir entre a física e a química, ou a biologia, não podem ser do mesmo tipo que as existentes entre as ciências tecnológicas e as ciências básicas. Pois, ainda que distintas, Layton classificaria tanto a física quanto a química entre as ciências básicas, e são estas últimas que ele contrapõe às ciências tecnológicas. Por mais distintas

que sejam, a física ou a química fazem parte da ciência básica; entre elas, as diferenças são menos epistemológicas e muito mais devido a cada uma estar voltada para domínios distintos, constituindo ramos diversos da mesma árvore da ciência básica. No entanto, as ciências tecnológicas contrapõem-se justamente às ciências básicas, de acordo com Layton; ele atribui às ciências tecnológicas características epistemológicas que as distinguem de todas as ciências básicas.

Layton afirma que a ciência tecnológica é menos abstrata e idealizada que a ciência básica. E que o projeto, por sua vez, é ainda menos idealizado que a ciência tecnológica. Para Layton, há uma hierarquia que progride gradativamente do mundo real e concreto para o mundo ideal e abstrato, uma hierarquia que vai do projeto para a ciência tecnológica e desta para a ciência básica, conectando o mundo dos artefatos ao mundo da ciência teórica (básica). Mas parece que essa hierarquia proposta por Layton não constitui um espectro contínuo; ao contrário, penso que seria correto dizer, a respeito da concepção de Layton, que um extremo do espectro liga-se ao outro de modo descontínuo, ao menos em certos trechos do espectro. Se eu tivesse de utilizar esta analogia, diria que o espectro é contínuo, ao menos no trecho que vai da ciência tecnológica até a ciência básica. Assim, não seria possível identificar o ponto exato de transição da ciência teórica para a tecnológica, a menos que este ponto seja assinalado arbitrariamente. Além disso, eu pensaria num espectro não-linear, de modo que nenhuma região do espectro deixaria de ter eventualmente algo em comum com qualquer outra região do espectro: além de contínuo, o espectro não conteria regiões totalmente puras, não contaminadas pelas outras.

Dou toda razão a Layton quando ele afirma que os engenheiros não vão sempre buscar na ciência as teorias que lhes seriam úteis -- ou seja, que os engenheiros não aplicam simplesmente as teorias científicas. Mas para defender esta tese não é preciso afirmar que os engenheiros costumam desenvolver teorias -- as teorias "tecnológicas" -- epistemologicamente

distintas daquelas da ciência básica. Basta afirmar que muitas vezes os engenheiros eventualmente formulam eles próprios as leis que vão utilizar, leis científicas acerca dos objetos com que a engenharia deve lidar, atendendo a determinadas finalidades práticas. Não há necessidade de se ampliar o conceito de ciência, acrescentando a esse conceito o de uma suposta ciência da tecnologia, autônoma e distinta da ciência básica. Não é preciso postular que a ciência é constituída por dois ramos distintos e autônomos: o da ciência básica e o da ciência tecnológica. Um único conceito de ciência, que permita apreendê-la como algo suficientemente nuançado e heterogêneo, é mais conveniente para acomodar tanto o trabalho e resultados das ciências básicas, quanto daquelas ciências mais diretamente ligadas à tecnologia.

* *

Noutro artigo [42], Layton faz considerações mais razoáveis. Ele observa que as ciências tecnológicas enfatizam menos as teorias e mais os procedimentos empíricos. As ciências básicas, cujo principal objetivo é o conhecimento, procuram ser mais exatas e gerais, mesmo que isto custe uma boa dose de idealização; as ciências tecnológicas, cujos objetivos são mais práticos, aceitam soluções aproximadas e perda de generalidade. Seguindo Koyré, Layton acredita que as ciências básicas descrevem um mundo ideal, matematizado, preciso, livre de graus de perfeição relativa e de teleologia. Por outro lado, as ciências tecnológicas ocupam-se de um mundo "mais complexo e qualitativamente distinto" de um mundo ideal matematizado; a teoria não é suficiente para abranger as complexidades da prática, e o engenheiro é obrigado a recorrer também a métodos práticos, empíricos.¹⁶ Além disso, as ciências tecnológicas são "teleológicas", no sentido de que devem atender a finalidades

¹⁶ Mas esta complexidade não obrigaria a ciência tecnológica, em alguns casos, a obter resultados mais precisos que os da ciência básica, ao contrário do que afirma Layton?

práticas e utilitárias; e, dadas as limitações técnicas, deve haver uma preocupação em avaliar a qualidade dos resultados obtidos, o que implica em reconhecer diferentes graus relativos de perfeição.

Em [43], Layton ressalta o menor grau de idealização nas teorias tecnológicas, que devem servir ao projeto, ligando as teorias puras ao mundo real dos artefatos complexos. Para Layton, a forma e conteúdo das teorias tecnológicas são profundamente afetadas pelos seus objetivos prático-utilitários, razão pela qual na tecnologia não há a preocupação de construir a teoria mais geral, abrangente e compreensível possível, como ocorre na ciência básica. Por isso, tendo as teorias tecnológicas de atender ao projeto e às necessidades da tecnologia mais do que às exigências cognitivas, os engenheiros são em muitos casos obrigados a formularem eles próprios suas teorias -- de modo a atender as demandas da tecnologia, que não coincidem bem com as da ciência básica. Dada essa motivação especial, não é surpreendente que a tecnologia tenha muitas vezes contribuído para o desenvolvimento da ciência -- como Layton acredita ter ocorrido desde o Renascimento, ou antes disso. Layton observa que muitos estudos têm mostrado que, em vários casos, a prática conduziu à teoria, e não o contrário. Além disso, em [44] Layton afirma que, para o Renascimento, tem sido mostrada "a existência de uma racionalidade científica prototípica na tecnologia". No Renascimento, engenheiros haviam desenvolvido teorias matemáticas para a descrição de máquinas e da engenharia. Há estudiosos que acreditam haver boas razões para se pensar que a prévia "matematização da engenharia pode ter influenciado os desenvolvimentos subsequentes de descrições matemáticas por cientistas de Galileu em diante". Para Layton, esses estudos mostram haver "importantes maneiras pelas quais os métodos científicos desenvolvidos por Galileu e seus sucessores apoiam-se sobre métodos experimentais e teóricos desenvolvidos por engenheiros, como Leonardo da Vinci."

* *

Em [41], Layton trata de forma um pouco o problema da idealização. Segundo Layton, a fim de obter generalidade, a ciência básica *simplifica* seus problemas, considerando casos *idealizados*, por exemplo, admitindo ausência de atrito, ausência de viscosidade, elasticidade perfeita. Nas ciências tecnológicas, ao contrário, é necessário considerar essas "*imperfeições dos materiais*", sem o que não é possível realizar seus objetivos almejados. Dessa forma, os tecnólogos necessitam lidar com realidades mais complexas, menos idealizadas.

Layton faz referência a dois matemáticos que trabalham com não-linearidade, os quais comentam utilização muito comum da linearização nos métodos clássicos de física matemática, o que implica em idealizações dos fenômenos naturais, frequentemente visando à obtenção de soluções explícitas. Daí toda sorte de idealizações, tais como: fluidos homogêneos e uniformes; ausência de fricção; isolamento perfeito; meios isotrópicos; objetos perfeitamente rígidos e sem peso; moléculas que são esferas sólidas infinitamente pequenas; colisões com duração de tempo nula. O motivo de tais idealizações é que, por exemplo, a admissão de fricção acrescenta uma variável a mais, que converte uma equação linear em uma não-linear, cuja solução não é conhecida, excessivamente trabalhosa ou virtualmente inacessível, mesmo recorrendo-se a métodos numéricos. Layton observa que, nas ciências básicas, a não-linearidade é ainda mais problemática que na tecnologia, visto que ela implica numa certa perda da generalidade que as ciências básicas esforçam-se por alcançar -- pois cada caso específico tende a solicitar uma solução mais particularizada.

Enquanto o físico, ao procurar por *leis fundamentais*, pode escolher formas geométricas simples, o engenheiro é obrigado a lidar com formas complicadas, as quais ele não pode remover apenas ^Vobter equações que possam ser calculadas; o engenheiro é frequentemente obrigado a enfrentar problemas não-lineares, que ficam mais próximos à realidade. Isto não quer dizer que os

V para

tecnologistas não utilizam idealizações sempre que possível, nem que a ciência básica não enfrente problemas não-lineares; significa apenas que a tecnologia tende a utilizar menos idealizações e a enfrentar mais Vlinearidades que a ciência básica. Trata-se de tendências, não de exclusividades. Assim, a tecnologia tende a fazer levar em consideração não-linearidades que a ciência básica tende a ignorar.

Layton observa que, de acordo com o físico W. Heisenberg, a idealização provoca uma perda de conexão com a realidade, embora os conceitos idealizados ainda se mantenham próximos da realidade naqueles pontos específicos da natureza nos quais a pesquisa foi realizada. Então, Layton pergunta se os conceitos e a "realidade" são, até certo ponto uma convenção, ou "uma função das suposições simplificadoras" introduzidas para que sirvam ao "conhecimento"? Em alguns casos, segundo Layton, as ciências tecnológicas apresentam uma versão um tanto diferente da "realidade", uma versão não-linear, empregando um conjunto de conceitos algo distinto daqueles da ciência básica, a fim de compreender essa "realidade não-linear". Afinal, não há justificação para que se considere a versão linear mais correta. Se concluíssemos a partir da experiência da tecnologia "que realmente vivemos num mundo não-linear, exatamente o que isto significaria"? "As transformações quantitativas seriam certamente pequenas, mas as transformações conceituais e filosóficas poderiam ser muito grandes."

Portanto, Layton vislumbra aí, aparentemente, a possibilidade de que as leis nas ciências tecnológicas sejam, ao menos em certos casos, mais exatas e precisas que as ciências básicas, justamente porque estas últimas privilegiam a generalidade e, conseqüentemente, a idealização.¹⁷

5.4 - Uma disciplina intermediária?

¹⁷ Compare-se com as considerações de Cartwright [13], no capítulo VI.

Channell ([14], [15]) propõe um conceito de ciência da engenharia baseado na posição do engenheiro acadêmico escocês W. J. M. Rankine. De acordo com Channell, um seguidor de Layton, a tecnologia possui seu próprio sistema de conhecimento, apoiado num quadro conceitual paralelo mas independente daquele da ciência. Para Channell, um terceiro sistema de conhecimento, independente e paralelo aos da ciência e da tecnologia, representado pela ciências da engenharia, serve como intermediário entre a teoria e a prática. Apoiada em seu quadro conceitual próprio, a ciência da engenharia seria a responsável pela comunicação e ligação entre os corpos de conhecimento da ciência e da tecnologia. No modelo proposto por Channell, portanto, a tecnologia não pode ser reduzida à aplicação da ciência, a qual pode sofrer influência da tecnologia, tanto quanto a tecnologia pode sofrer influência da ciência. Para Channell, porém, esta influência é mediada pela ciência da engenharia, que constitui um sistema de conhecimento autônomo e que converte, transforma e traduz conceitos e conquistas da ciência de modo que eles possam ser utilizadas na tecnologia e vice-versa.

* *

Channell reporta-se à controvérsia em torno da utilização da força expansiva do vapor nos engenhos, utilizada primeiramente por James Watt no século XVIII (ver capítulo III), e que tornou-se uma prática generalizada a partir de 1860. Os "expansionistas" defendiam a utilização da força expansiva do vapor, que permitiria a realização de trabalho pelo vapor sobre o pistão, após uma interrupção precoce do suprimento de vapor para o cilindro. Neste caso boa parte do trabalho seria realizado somente pela expansão do vapor já contido no cilindro, o que permitiria uma economia significativa de vapor e, portanto, de combustível. Os expansionistas defendiam seu argumento com base na lei de Boyle-Mariotte -- que afirma ser constante a razão

entre um produto, o da pressão pelo volume, pela temperatura de um gás (ideal). Os antiexpansionistas, por sua vez, negavam que a interrupção precoce do fornecimento de vapor ao cilindro, fazendo o vapor trabalhar expansivamente, pudesse representar alguma economia, realizando testes a fim de mostrar isto. Benjamin F. Isherwood foi um dos engenheiros que realizaram estes testes. Ele mostrou que a economia obtida com a expansão do vapor era anulada pela condensação provocada no interior do cilindro. Outros testes chegaram à mesma conclusão, colocando sérias dificuldades aos argumentos dos expansionistas.

Para os expansionistas, porém, estas dificuldades significavam deviam ser atribuída aos engenhos, e não às leis científicas -- no caso, a leis de Boyle-Mariotte. Outro famoso engenheiro daquela época, por exemplo, R. H. Thurston, um expansionista, expunha claramente: *"Quanto mais fizermos nossa prática conformar-se à teoria, evitando a interferência de circunstâncias não reconhecidas por nossas teorias, mais nossos resultados práticos se conformarão a nossas deduções teóricas."* Para os expansionistas, as leis da natureza podiam ser aplicadas às máquinas se estas fossem construídas de modo a se ajustarem àquelas leis.

Para os antiexpansionistas, ao contrário, a falha estava não nas máquinas, mas nas próprias leis científicas: a lei de Boyle-Mariotte não podia ser empregada para determinar a economia resultante do emprego expansivo do vapor nos engenhos, nem mesmo de forma aproximada, segundo alguns. Para Isherwood, a teoria da expansão era falaciosa, porque *"baseada sobre uma abstração pura e simples, a da idéia de uma elasticidade perfeita dos gases e vapores, não afetada por quaisquer condições da matéria ou do engenho a vapor"*. Os antiexpansionistas questionavam, portanto, o valor das leis científicas e sua aplicação a problemas tecnológicos.

Acho que o problema em questão é ainda hoje extremamente pertinente, e consiste essencialmente no relacionamento entre o ideal e abstrato com o real e concreto, na

tecnologia.

Channell argumenta que Rankine forneceu uma solução, ao propor um modelo para a ciência da engenharia baseado tanto na ciência quanto na tecnologia. Channell observa que Rankine possuía formação e experiência nas duas disciplinas. Ao ocupar a cadeira de engenharia na Universidade de Glasgow, Rankine deparou-se com um problema: de um lado, os professores de cadeiras das áreas de filosofia natural e matemática não viam com bons olhos o ensino de princípios teóricos da tecnologia na cadeira de engenharia, pois entendiam que esses temas pertenciam a suas próprias cadeiras; por outro lado, o ensino da prática da engenharia não oferecia nenhuma vantagem aos futuros engenheiros, que dispunham de um sistema de aprendizado e treinamento diretamente com aqueles que praticavam a engenharia. Para Channell, foi por não poder enfatizar nem os aspectos práticos nem os aspectos teóricos da engenharia que Rankine procurou formular um novo modelo para a engenharia na universidade, criando o conceito de um ramo autônomo de conhecimento, que dispusesse de suas próprias leis e métodos. Essa disciplina, a ciência da engenharia, não se resumiria às "categorias tradicionais de teoria e prática", observa Channell; dessa maneira, Rankine conseguiria se livrar dos atritos com os cientistas nas universidades, sem concorrer com qualquer forma de treinamento promovida pelos praticantes da engenharia.

Primeiramente, Rankine estabeleceu a distinção entre treinamento científico e treinamento prático, apoiada nos objetivos destes dois tipos de conhecimento: no conhecimento científico puro, o objetivo seria o de ampliar a compreensão, cultivar o conhecimento natural, elevar a mente e contemplar a ordem do universo; no conhecimento puramente prático, por outro lado, o objetivo seria a realização de experimentos e observações, a avaliação de qualidade, conveniência e lucro, a imitação de estruturas existentes e a aderência a regras práticas estabelecidas. Rankine propôs então a criação, dentro da universidade, de um terceiro tipo de conhecimento, intermediário

aos outros dois. Esta espécie intermediária de conhecimentos teria por objetivos: permitir o cálculo da eficiência teórica uma determinada máquina ou de uma dada estrutura, descobrir as causas de falhas desses artefatos e procurar maneiras de sanear essas deficiências, permitir a avaliação do grau com que uma regra prática estabelecida está fundada na razão, no mero costume ou no erro.

Depois de definir os objetivos da ciência da engenharia, Rankine tratou de definir o quadro conceitual daquela disciplina. A ciência da engenharia -- conforme a terminologia adotada por Channell -- promoveria a interação entre ciência e tecnologia. Rankine identificou dois modos pelos quais a tecnologia progride. Um primeiro modo, empírico e puro e simplesmente prático, ocorreria de forma contínua no tempo, constituindo-se: de incrementos graduais nos materiais e nas habilidades técnicas, de pequenas e sucessivas melhorias de projeto, e do exercício da criatividade. Portanto, este seria um modo de progresso cumulativo e limitado basicamente a pequenos avanços e alterações em projetos já existentes.

O segundo modo de progresso tecnológico, porém, ocorreria em intervalos, de modo descontínuo no tempo. Rankine considerava este modo científico, um resultado da união entre teoria e prática. Para Rankine, o progresso científico da engenharia era possível quando conduzido por uma ciência que *tratava das propriedades dos materiais e das leis que governam as ações de uma determinada classe de máquinas*. A integração entre teoria e prática ocorria porque *as leis que governam as ações (de certas classes de máquinas) apoiar-se-iam sobretudo em conceitos teóricos formais, enquanto que as propriedades dos materiais seriam sustentadas sobretudo por dados experimentais práticos*. Para Rankine, este progresso científico da engenharia seria o responsável por grandes avanços no projeto.

O próximo passo de Rankine, de acordo com Channell, foi o de estabelecer a relação entre as leis de ações (que regem o comportamento de determinados tipos de máquinas) e as

propriedades dos materiais. A chave desta relação estaria na concepção de Rankine acerca da termodinâmica, que parece ter sido influenciada pela maneira pela qual ele interpretava Aristóteles. Segundo Channell, a ênfase que Rankine dedicava ao senso comum, à maneira dos filósofos escoceses, e à separação que aqueles filósofos estabeleciam entre quaisquer conteúdos ontológicos e as teorias, não o impediam de moldar seus quadros conceituais e sua concepção da termodinâmica a idéias de Aristóteles, ao qual Rankine freqüentemente costumava se referir.

Rankine dizia que, para Aristóteles, o calor não é uma substância, "mas um dos estados aos quais as substâncias são suscetíveis". Rankine aceitava o conceito de substância de Aristóteles, que a definia como aquilo que sofre mudança durante algum processo, rejeitando o conceito de substância como algo permanente e imutável. Como Aristóteles, Rankine concebia a criação de objetos como a imposição de alguma forma a uma substância. Portanto, a ocorrência de mudanças implicava que certas substâncias assumissem novas formas.

De acordo com Channell, Rankine utilizou a teoria aristotélica das formas substanciais para estabelecer as relações entre as leis de ação -- isto é, leis que governam as ações de determinadas máquinas -- e as propriedades dos materiais. Para Rankine, as *leis de ação* devem referir-se a alguma substância, o que significa, na prática, que *as leis governam a criação de um estado ou condição nos materiais*. Por outro lado, de acordo com Rankine, *os materiais alteram as leis de ação*, pois *os estados a que os materiais podem ser induzidos dependem das propriedades desses materiais*. Portanto, as leis de ação governam o comportamento dos materiais, regendo seus estados, enquanto que, simultaneamente, as propriedades dos materiais modificam ou alteram as leis de ação.

Com base nessas idéias, Rankine pode construir sua concepção da *termodinâmica do engenho a vapor*, a qual pode ser considerada, de acordo com Channell, como um exemplo de ciência da engenharia, conforme a formulação proposta por Rankine.

Para Rankine, na termodinâmica do engenho a vapor, as leis de ação são as que governam a criação e a perda de calor, enquanto que o material em questão é o vapor. Em um engenho a vapor, um estado de calor é gerado pela queima de um combustível; esse calor é transferido para a água, criando vapor, o qual, aquecido, gera um estado de energia mecânica no pistão, que gera trabalho. Na análise de Rankine, o trabalho do engenho depende das propriedades do vapor, bem como da criação e desaparecimento do estado de calor naquele vapor. A construção de um sistema como o de um engenho a vapor, de acordo com a concepção de Rankine, depende da combinação de teoria e prática, na medida em que as leis do calor apoiam-se sobretudo em conceitos teóricos formais, enquanto que as propriedades do vapor apoiam-se sobretudo em *dados práticos e experimentais*.

Channell explica como Rankine utilizou seu modelo de ciência de engenharia para analisar o uso expansivo do vapor. Rankine partiu inicialmente do modo pelo qual as leis do calor afetavam as propriedades do vapor. Ele constatou que, enquanto realizava trabalho ao expandir-se, o vapor perdia calor, condensando-se. Era esta condensação que os antiexpansionistas afirmavam anular as vantagens da expansão, por causar uma redução da pressão no cilindro. Rankine, porém, calculou que esta perda de pressão devido à condensação tinha pouca influência sobre a eficiência do engenho, por ser acompanhada da realização de um trabalho correspondente (à perda). Todavia, não apenas a ação do calor afeta as propriedades do vapor, como também as propriedades do vapor são capazes de alterar a ação do calor, na concepção de Rankine. A condensação de vapor no cilindro não provocava perda de eficiência, mas a presença do vapor liqüefeito tinha um efeito indireto: o vapor condensado extraía calor da parede do cilindro e começava a evaporar novamente, conduzindo o calor extraído do cilindro para o condensador, onde não há realização de trabalho. A temperatura do cilindro baixava, o que provocava uma condensação ainda maior na próxima expansão, baixando a eficiência de forma progressiva a cada golpe.

Através de sua análise da ação expansiva do vapor, Rankine estava em condições de compreender as razões da perda de eficiência, e de sugerir procedimentos para amenizá-la. Rankine pensou então em acrescentar algum calor ao cilindro, de modo a evitar a condensação, o que evitaria a extração de calor pelo vapor liquefeito, ao reevaporar. Para isso, Rankine pensou em revestir o cilindro, a fim de obter uma maior retenção de calor. Além disso, Rankine sugeriu a utilização de um engenho composto, no qual a redução da temperatura do vapor é realizada em duas etapas, o que também favorece a retenção do calor do cilindro.

Channell observa que, embora o revestimento do cilindro e o emprego de engenho composto já tivessem sido tentados outras vezes, os ganhos envolvidos nunca haviam sido bem compreendidos. Os expansionistas sempre focalizavam suas atenções no engenho ideal, que devia obedecer às leis da ciência, às leis do calor. Os anti-expansionistas, por sua vez, concentravam suas atenções nas falhas práticas que os engenhos reais apresentavam em relação às leis da ciência, devido às propriedades do vapor (e do engenho). No entanto, expansionistas e antiexpansionistas concordavam num ponto: que os engenhos reais não se comportam como um engenho ideal. E, é claro, para os expansionistas a solução consistia justamente em construir engenhos reais que se comportassem como um engenho ideal, enquanto que os antiexpansionistas sustentavam que isto era impossível. Mais uma vez, expansionistas e antiexpansionistas acabavam por chegar a um mesmo ponto: ambos eram incapazes de identificar ou compreender as perdas de eficiência nos engenhos reais. Rankine, porém, através de sua termodinâmica, voltada para as relações entre as leis do calor e as propriedades do vapor, estava em condições de indicar corretamente onde as perdas teóricas ocorriam num engenho real. Dessa forma, Rankine forneceu uma resolução para o debate em torno do uso expansivo do vapor. Nas palavras de Channell, o *"modelo de ciência de engenharia de Rankine forneceu o quadro no qual idéias teóricas podiam ser aplicadas a problemas práticos"*.

* *

Channell também considera a contribuição de Rankine para a teoria das estruturas. No tempo de Rankine, os princípios científicos da estática podiam ser utilizadas para a determinação da estabilidade das estruturas, caso estas fossem idealizadas, deixando para segundo plano considerações acerca das propriedades dos materiais. Portanto, a ciência podia determinar a estabilidade de uma estrutura *ideal*. Por outro lado, era necessário compatibilizar a estabilidade teórica à resistência dos materiais, já que a teoria das estruturas também depende das propriedades dos materiais empregados. Mas as propriedades dos materiais estruturais só podia ser conhecida através de dados práticos, experimentais, obtidos submetendo-se os materiais até seus limites de tração, compressão, flexão. Todavia, os dados assim reconhecidos não se comportavam de maneira previsível; vários engenheiros haviam notado que os limites de resistência dependiam da posição do apoio ou da carga. Portanto, nem a abordagem teórica nem a experimental podiam prever com precisão o comportamento das estruturas reais.

Novamente, de acordo com Channell, o modelo da ciência de engenharia de Rankine favoreceu a resolução do problema. Ao introduzir, entre os britânicos, o que hoje pode ser designado como conceito tensorial de tensão -- desenvolvido pelos engenheiros-cientistas franceses --, Rankine proporcionava uma maneira de relacionar a estática dos cientistas aos dados experimentais dos engenheiros. Só considerando os estados de tensão em toda a estrutura -- ou, numa terminologia mais moderna, adotando o conceito de tensão tensorial -- era possível calcular com maior precisão o comportamento de estruturas reais, permitindo uma utilização mais racional dos dados experimentais acerca da resistência dos materiais.

* *

A concepção de Rankine acerca da tecnologia científica -- que Channell chama de 'ciência da engenharia' -- parece-me

extremamente interessante, sugestiva. Na sua concepção, a tecnologia científica é entendida como aquela que estuda as relações das teorias e das leis com as propriedades dos materiais, onde as teorias aplicam-se aos materiais, ao mesmo tempo que os materiais, através de suas propriedades peculiares e específicas, modificam as leis ou teorias que regem os seus estados. Esta idéia me parece realmente sugestiva, no que diz respeito à interação entre ciência e tecnologia. A idéia de Rankine favorece a compreensão da interação entre teoria e prática, já que, conforme ele coloca, na prática -- ou na experimentação tecnológica -- tende a aparecer uma maior familiaridade com as propriedades dos materiais, um maior conhecimento dessas propriedades. De outro lado, Rankine observa que o progresso e aperfeiçoamento dos projetos de engenharia repousa igualmente sobre um maior conhecimento das teorias e leis que regem os materiais com que a engenharia deve lidar. Daí a harmonia entre teoria e prática no pensamento de Rankine, enfatizada por Channell.

No entanto, Channell atribui a Rankine uma posição a meu ver equivocada, e que tenho dúvidas sobre até que ponto realmente corresponde à posição de Rankine. Segundo Channell, Rankine considerava a ciência da engenharia como um tipo de conhecimento intermediário entre o conhecimento puramente científico e o puramente prático. Channell justifica a necessidade de um tal tipo intermediário de conhecimento, afirmando que ele funciona como tradutor entre a linguagem da ciência e a da tecnologia, traduzindo informações de uma para a outra. Channell procura esclarecer seu ponto de vista com uma estranha e algo duvidosa analogia com o conceito de tradução literária, que para Channell implica num ato criador: a tradução de uma linguagem para a outra não é um ato mecânico, e o tradutor precisa recriar na língua escolhida o texto da língua original.

O problema com este conceito de ciência da engenharia como um tipo intermediário de conhecimento, a meu ver, está em parecer excessivamente abstrato: não existe um conhecimento

puramente científico, de um lado, e um puramente prático, do outro. pode-se falar, é certo, em conhecimentos mais científicos, ou mais práticos, mas não em puramente científicos ou puramente práticos. Rankine estava interessado, é certo, no que ele designou de ciência prática, que devia ocupar-se do que podia ser feito, e não do que podia ser pensado, como na ciência teórica. Rankine via essa ciência prática tanto como conhecimento quanto como atividade; embora a tecnologia científica dependesse do estudo dos princípios científicos, a aplicação desses princípios à prática constituía, segundo Rankine, uma arte própria, com suas competências e exigências peculiares, constituindo uma arte liberal e nobre. Todavia, nada disso parece implicar necessariamente que essa ciência prática ou tecnologia científica constituísse um tipo de conhecimento independente, intermediário entre o "puramente científico" e o "puramente prático", e cuja função seria a de estabelecer a comunicação entre estes dois tipos puros. Também não vejo porque a "ciência prática" de Rankine não pode de modo algum, de acordo com Channell, ser interpretada como um "subspécie" da própria ciência.

Na verdade, penso que o conceito de ciência da engenharia como um modo de conhecimento independente, intermediário entre a ciência e a tecnologia, deve-se provavelmente muito mais ao próprio Channell -- como um seguidor de Layton -- do que a Rankine. Channell sustenta que as descobertas da ciência e da tecnologia não podem ser aplicadas diretamente de uma disciplina à outra, devido às diferenças conceituais entre essas disciplinas. Para Channell, o conceito de substância na ciência é fundamentalmente distinto do conceito de substância na tecnologia. Para ele, na ciência, substância significa algo imutável, permanente. Assim, por exemplo, as mudanças químicas correspondem apenas a alterações na disposição dos elementos constituintes da matéria, que permanecem inalterados; o princípio de inércia pressupõe apenas o transporte de matéria através do espaço, não sua alteração -- pois a matéria corresponde a um conceito bastante idealizado. Recorrendo a

Koyré, Channell observa que os movimentos aos quais o princípio de inércia se refere não são os movimentos dos corpos de nossa experiência, de nosso cotidiano, mas sim os movimentos dos corpos geométricos no espaço abstrato -- e por isso nada tem a ver com qualquer mudança.

A tecnologia, por outro lado, não lida com substâncias imutáveis, *ideais*, de acordo com Channell. Os engenheiros preocupam-se sobretudo com as propriedades da matéria: elasticidade, atrito, pressão do vapor, etc. Embora os cientistas ocupem-se eventualmente de tais coisas, na opinião de Channell, eles costumam considerar essas propriedades secundárias, isto é, propriedades que podem ser descritas em termos de coisas mais fundamentais, como partículas e forças. Para os engenheiros, porém, essas propriedades dos materiais manifestam-se individualmente, *em dependência das situações reais nas quais os materiais são usados*. Por isso, reduzir a complexidade dos fenômenos a partículas, forças, etc pouco ajuda na prática aos tecnologistas, que precisam considerar as substâncias como algo "fundamentalmente mutável". Assim, as regras práticas dos engenheiros, ao contrário das leis científicas, podem aplicar-se a cada situação específica. Por isso, devido às diferenças entre o conceito de substância na ciência e na tecnologia, "é freqüentemente impossível aplicar leis científicas diretamente a problemas práticos".

De acordo com Channell, afim de promover a integração entre ciência e tecnologia, a ciência da engenharia precisava "estabelecer um esquema no qual as leis científicas pudessem ser modificadas de modo a poderem acomodar corpos materiais". Para Channell, foi isto que fez Rankine: sendo a substância "suscetível a diferentes estados ou condições, a criação ou mudança daqueles estados pode ser relacionada a leis científicas"; as leis da natureza modificam as condições dos corpos, mas, ao mesmo tempo, também são modificadas pelas propriedades reais dos materiais. Por isso Channell sugere, ainda, que o conceito de eficiência corresponde, de certo modo, a

uma quantificação da alteração a que as teorias ideais são submetidas pelos materiais reais. Através da ciência da engenharia, a ciência influi na tecnologia por meio das leis da natureza, ao mesmo tempo que a tecnologia afeta a ciência por meio do estudo dos materiais.

Fica claro que, neste conceito de ciência tecnológica proposto por Channell, a tecnologia não se reduz apenas à aplicação da ciência, com o que estou de acordo. No entanto, Channell acaba propondo outra redução com a qual não posso concordar: para Channell, as teorias científicas são apenas idealizações que não têm como referir-se adequadamente à realidade, com a qual lida a tecnologia. Não há dúvida que a ciência tende a ser bem mais abstrata e idealizada do que convém ao trabalho da tecnologia, e que há, portanto, uma dificuldade da ciência em tratar da realidade que está próxima à tecnologia. Este é de fato o ponto nevrálgico da aplicação da ciência, e que Channell soube identificar com muita precisão. Mas isso não significa que a ciência é tão abstrata e idealizada que nunca consegue alcançar adequadamente a realidade, nem que as teorias científicas não sejam muitas vezes diretamente aplicáveis na tecnologia. A ciência, embora mais idealizada e abstrata que a tecnologia, não o é no grau sugerido por Channell. Não existe uma incomunicabilidade entre teoria científica e prática tecnológica como a que Channell sugere, que só poderia ser superada por intermédio de uma disciplina intermediária e autônoma, a ciência da engenharia.

Channell sugere que o conceito tensorial de tensão pertence à ciência da engenharia, e não à ciência, a qual postularia apenas conceitos idealizados como os de força, partículas, etc, que não seriam convenientes à tecnologia. Channell é um seguidor de Layton, e repete neste ponto as mesmas mesmas confusões cometidas por Layton. O conceito tensorial de tensão não é incompatível com o de força; muito ao contrário (ver item anterior).

Por outro lado, ao adotar um conceito de substância

como algo mutável, sujeito a mudanças de estado, tenho sérias dúvidas de que Rankine estivesse sugerindo que este conceito fosse válido apenas para a ciência da engenharia. É Channell que sugere haver um conceito de substância na ciência e outro na ciência da engenharia. Quanto a Rankine, parece-me mais plausível que ele estivesse sugerindo um único conceito de substância, válido tanto para a ciência quanto para a tecnologia; e não importa se eventualmente os cientistas preferiam ou preferem um conceito distinto, nem que o conceito proposto por Rankine seja mais adequado para acomodar a ciência à tecnologia e vice-versa. A ciência prática ou tecnologia científica de Rankine claramente não se reduzia à mera aplicação da ciência; todavia, não vejo muito boas razões para negar que ao menos parte dessa ciência prática ou tecnologia científica seja constituída de conhecimentos científicos. Não vejo por que ao menos uma grande parte da ciência da engenharia não possa constituir -- nos termos de Channell -- uma "subespécie" da ciência.

Não há dúvida, porém, que Rankine fornece sugestões bastante interessantes para que se possa refletir e compreender em maior profundidade acerca das relações entre ciência e tecnologia, especialmente no que diz respeito à tendência, mais acentuada na ciência que na tecnologia, à idealização e à abstração, que acarreta certa dificuldade em tratar diretamente com a realidade concreta. Neste ponto, que é a questão fundamental dos artigos de Channell, ele foi feliz, a meu ver, enfatizando a insistência de Rankine em procurar mostrar a importância da interação, da harmonização entre teoria e prática na tecnologia científica, na ciência prática, ou na ciência da engenharia.

5.5 - Idealização e abstração

Rankine afirmou uma vez que, embora não sejam derivadas de observações dos sentidos, as hipóteses podem ser úteis em reduzir as leis acerca de fenômenos complicados a uns poucos e

simples princípios (Channell [15]). Esta declaração de Rankine parece estar relacionada a questões que continuam extremamente pertinentes: até que ponto as idealizações e abstrações são válidas na prática; até que ponto as teorias úteis para a prática tecnológica podem ou devem ser idealizadas e abstratas -- em vez de reais e concretas --; até onde e de que forma as idealizações e abstrações distanciam-se das complexas situações das práticas tecnológicas? Creio que ainda não se realizou um esforço adequado no sentido de encontrar respostas filosóficas detalhadas a estas questões. É certo, porém, que a tecnologia encontrou suas próprias maneiras de resolver estes problemas, embora sem fazer uma reflexão filosófica clara e consistente acerca dessas soluções. Ainda me parece modesta a compreensão filosófica das complexas e sofisticadas maneiras através das quais a tecnologia moderna contorna estes da interação entre teoria e prática, entre o ideal e abstrato, de um lado, e o real e concreto, de outro. Mesmo trabalhos relevantes, na filosofia da ciência, para uma melhor compreensão da tecnologia, como o de Cartwright [13] ou o de I. Hacking [25], ainda têm como tema a ciência (básica), apesar de reconhecerem explicitamente a ligação de suas temáticas com a tecnologia. (Na verdade, Cartwright acena um pouco mais decididamente para a tecnologia.) Historiadores da tecnologia, como Layton ou Cahannell, bem que esforçam para compreender as relações epistemológicas entre ciência e tecnologia, mas penso que a eles falta a qualificação do especialista em filosofia da ciência.

* *

Ninguém duvida que a tecnologia moderna utiliza-se de teorias a fim de alcançar seus objetivos práticos. Todavia, o modo pelo qual a prática tecnológica utiliza as teorias não é muito bem compreendido. Os tecnologistas, é certo, sabem como fazer para correlacionar, na tecnologia, teoria e prática. Mas eles costumam refletir muito pouco sobre como fazem isto, e muito menos se preocupam em explicitar suas reflexões. Muito hábeis em

superar a distância entre teoria e prática, os tecnologistas não costumam, porém, refletir acerca dessa habilidade ou sobre como a obtém -- embora possam transmitir suas técnicas a seus aprendizes.

É possível encontrar muitas ilustrações de que a relação entre teoria e prática na tecnologia não é nada trivial, nem simples ou fácil. Posso citar mais um exemplo disso recorrendo a Fung, um especialista num campo teórico de grande importância para a engenharia -- a mecânica dos sólidos. Fung mostra-se bastante consciente da existência de uma considerável distância entre a teoria e a prática na engenharia, e de que esta distância pode ser (e tem sido) favoravelmente superada -- só lhe restou preocupar-se em dizer especificamente, detalhadamente, como isso costuma ser feito. No epílogo de seu livro [20], Fung diz:

"Ao chegar a este ponto de nosso estudo, o leitor deve ter um sentimento de que o panorama da mecânica dos sólidos é algo irreal. Os exemplos selecionados e discutidos no livro são problemas idealizados. Quando pensamos a respeito de qualquer situação prática do mundo real, observamos que nenhuma das soluções é diretamente aplicável. Situações muito mais complexas teriam de ser enfrentadas. O material real comporta-se de um modo complicado. O objeto real tem uma forma geométrica irregular. Não-homogeneidade e anisotropia prevalecem, não-linearidade revela-se quase em toda parte. Poderíamos perguntar: se os exemplos são tão simples, os métodos subjacentes são suficientemente gerais para lidar com todas as situações práticas?"

Infelizmente, nenhuma resposta abrangente pode ser dada. É verdade que com a aplicação de máquinas de computação modernas, o poder de alguns métodos analíticos pode ser estendido além dos sonhos de seus inventores. Mas muitos problemas fundamentais ainda são insolúveis; e, além da linearização, não apenas nossa capacidade de análise é muito limitada, mas em muitas instâncias não sabemos sequer como perguntar as questões.

Não pretendo deixar a impressão de que problemas de

engenharia podem ser resolvidos através de idealizações arbitrárias. Mas através da interpretação apropriada de resultados idealizados podemos freqüentemente obter soluções adequadas para problemas importantes. Pode-se refletir sobre o fato de que por gerações pontes e edifícios foram projetados com base em teoria simples de pontes e de barras. Produtos de nossa civilização, aeroplanos, transatlânticos, e mesmo naves espaciais, foram projetados principalmente com base na teoria da elasticidade. Parece que por meio de um uso apropriado do conhecimento existente, coisas admiráveis podem ser alcançadas.

Questões centrais constantemente encontradas por um engenheiro são: de que modo um problema pode ser idealizado para que possa ser manuseado? e de que maneira uma idealização pode ser avaliada em termos de sua adequação à situação real? Não há respostas rápidas a estas questões. Por meio da acumulação de experiências, do refinamento da análise, da criação de teorias mais gerais e rigorosas, podemos gradualmente aprender a compreender o mundo real. Num livro como este, cujo objetivo principal é um estudo dos principais métodos da mecânica dos sólidos, muito é deixado para a cuidadosa reflexão do leitor." (Grifos meus.)

Fung afirma que infelizmente não possui respostas abrangentes para o problema da relação entre teoria e prática, real e ideal, concreto e abstrato, na tecnologia. Mas a tentativa de fornecer tais respostas de modo tão abrangente, profundo, preciso ou detalhado quanto possível é, me parece, uma tarefa própria da filosofia.

VI - PERSPECTIVAS METODOLÓGICAS

Entendo que a interação da teoria científica com a tecnologia ocorre em dois níveis. O primeiro é o da teoria, propriamente. A tecnologia aplica, adapta, estende, corrige e desenvolve teorias científicas. Por outro lado, a experimentação é uma grande e incomparável fonte de informações para a elaboração teórica -- não apenas para a verificação, mas também para a descoberta.

6.1 - Da prática à teoria

As maneiras pelas quais as formulações da ciência aparecem despertam meu interesse de um modo especial, pois acredito que algumas das principais contribuições cognitivas da tecnologia para a ciência giram em torno da construção ou formulação teórica.¹

Acredito que a partir da prática -- da experimentação e observação -- é possível ou ao menos sugerir tais formulações de

¹ Tradicionalmente, a separação entre o contexto da justificação e o da descoberta era imperativa, não cabendo à filosofia da ciência considerar como surgem as teorias científicas. Mais recentemente, contudo, parece que vêm se acentuando as críticas a esta posição clássica.

Nersessian [49], por exemplo, faz este tipo de críticas, seguindo Dudley Shapire. Ela critica a análise da ciência a partir somente das necessidades da linguagem, e enfatiza que a descoberta precisa ser considerada na filosofia da ciência, argumentando que só através de um exame da prática científica e de sua história é possível chegar a uma compreensão apropriada do empreendimento científico.

Afirmações similares são feitas por em Hacking [25].

caráter teórico. Obviamente, este não é o único modo de construir teorias; não se pode ignorar o enorme poder das pesquisas apriorísticas, do formalismo matemático e das hipóteses especulativas. Mas tampouco se pode esquecer o vigor da prática e da experimentação na construção teórica. E acontece que prática e experimento são elementos fundamentais e característicos da tecnologia.

A prática -- observação e experimento -- não constitui, em si mesma, atividade propriamente cognitiva. Mas a prática envolve cognição e interage com ela. O grande problema que se coloca, a meu ver, é o de compreender como duas faculdades tão distintas como a habilidade prática e a cognição interagem - e intensamente. Estou convencido de que uma das principais razões para o sucesso da ciência e da tecnologia repousa numa forte interação entre elas. Creio que este campo ainda não foi suficientemente investigado; nos tópicos a seguir abordo algumas contribuições que talvez sejam significativas.

6.1.1 - O cérebro na ponta dos dedos

Num artigo sobre Derek J. deSolla Price e seu interesse em instrumentos científicos, Beaver [2] sugere que, para Price, os instrumentos funcionam como chaves para o entendimento e organização do mundo. (Antes de se dedicar à história dos instrumentos científicos, à política científica e ao estudo da relação entre ciência e tecnologia, Price obteve um doutorado em física experimental.)

De acordo com Beaver, Price considera que a parte mais criativa e original da tecnologia reside nos instrumentos científicos, que para ele são também a chave para o progresso da ciência. Para Price, o intuito de compreender o mundo através dos instrumentos é uma motivação para a invenção de instrumentos desde a antiguidade. Esta motivação, por exemplo, deu origem à penetrante filosofia mecânica, à visão mecanicista do mundo. Para Price, certos instrumentos foram comparados a teorias,

constituindo "modelos tangíveis" empregados à maneira de diagramas geométricos ou matemáticos e outros simbolismos das teorias antigas. Tais instrumentos constituíam explicações, sob forma material, acerca do modo como pelo qual as coisas funcionam.

Price acredita também que o melhor caminho para ciência parte do trabalho artesanal em direção ao estudo acadêmico, e que a melhor maneira de se chegar a uma teoria básica é levar em conta qualquer dado empírico que tenha sido obtido. Por isso, Price chegou a afirmar que a verdadeira revolução científica seguiu a revolução industrial, quando as novas tecnologias possibilitaram o estabelecimento da ciência moderna. Do ponto de vista radical de Price, a habilidade experimental constitui a principal fonte exógena e inesperada que impulsiona a ciência -- além de impulsionar a própria tecnologia. Depreende-se daí a importância de se compreender a relação entre ciência e tecnologia.²

* *

Price [51] inverte o ponto de vista amplamente dominante acerca do papel da experimentação na ciência, que coloca, segundo ele, uma ênfase excessiva e irreal na função da teoria. De acordo com este ponto de vista - o qual, aliás, une as mais diversas e até conflitantes posições filosóficas -, a experimentação serve apenas para testar ou confirmar hipóteses

² De acordo com Rossi [56], Dewey também tinha um bom conceito dos instrumentos. Dewey afirmou que os instrumentos constituem uma espécie de linguagem, mantendo-se mais próximos da realidade do que as palavras, e possuindo uma sintaxe de operações que possibilita um conhecimento mais exato do que a fala ou a escrita. Dewey também afirma que o verdadeiro conhecimento re floresceu no momento que adotou os instrumentos e procedimentos do trabalho produtivo, que tornaram-se a característica fundamental do método experimental da ciência.

previamente elaboradas. Para Price, porém, o que de fato acontece nos laboratórios raramente segue este padrão; o qual não apreende a essência do empreendimento científico. O ponto de vista predominante reflete apenas uma mentalidade extremamente orientada para a teoria. Nos laboratórios, ao contrário, o propósito da experimentação é descobrir o que acontece quando certas técnicas são aplicadas. A idéia é descobrir novos fatos da natureza por meio dos experimentos. Estes procedimentos experimentais nada têm de vulgar, nem são pouco importantes, apesar do preconceito com que estes trabalhos práticos costumam ser vistos.⁹ Os habilidosos experimentadores de forma alguma limitam-se a executar aquilo que é determinado por intelectos mais criativos, responsáveis pelo progresso cognitivo; pelo contrário, estes experimentadores representam uma tradição tecnológica autônoma e com objetivos próprios, uma tradição que não deriva do núcleo cognitivo da ciência. Com muito mais frequência do que se supõe normalmente, estes hábeis experimentadores impulsionam a ciência para frente - além, é claro, de impulsionarem a tecnologia. Esta é frequentemente a origem comum do progresso da tecnologia e da ciência, constituindo o núcleo da relação entre estas disciplinas. Price expressa de modo sucinto e elegante seu ponto de vista ao referir-se ao engenhosos experimentadores "com o cérebro na ponta dos dedos".

Outra idéia muito comum é a da aplicação da ciência na tecnologia. Trata-se de uma aplicação misteriosa, comenta Price, pois não apoiada sobre fatos; pois há muito poucos exemplos de tais aplicações, enquanto que, por outro lado, há muitos exemplos de avanços tecnológicos desafiando os teóricos e possibilitando

⁹ A revolução científica foi possível em grande parte porque a ciência adotou os procedimentos experimentais da tecnologia, vencendo uma tradicional depreciação dos trabalhos manuais (Rossi, item 4.1). No entanto, até hoje restam resquícios do antigo preconceito. (Conferir também Hacking [25], pp. 150-152.)

assim o progresso da ciência. Não há dúvida que Price exagera aqui, cometendo erro inverso ao que ele pretendia anular, - embora, em geral, a aplicação não seja tão simples e diretas quanto muitas vezes se supõe. Ele exagera quando sugere que a maior contribuição é compreender as novas técnicas descobertas, possibilitando a modificação e aperfeiçoamento destas técnicas. Pois algumas contribuições da ciência à tecnologia de modo algum se restringe a isso. Mas acredito ele tem razão quando afirma que não raro novas técnicas e tecnologias são dominadas e controladas antes que se compreenda por que elas funcionam. No entanto, Price rejeita a subordinação da ciência à tecnologia e vice-versa; a ciência não é produzida somente para ser aplicada na prática; nem a tecnologia é apenas aplicação de teoria científica. Price sustenta haver uma interação dialética, uma soma, uma combinação entre ciência e tecnologia - embora ele afirme que, na grande maioria das vezes, apenas depois que novos fatos foram descobertos, explorados e controlados, através da experimentação e de sua tecnologia, é que novos progressos na ciência e na tecnologia tornam-se possíveis.

Price insiste que, para a realização de alguma coisa concreta, empregam-se técnicas antes que idéias. Por exemplo, a teoria eletromagnética de Maxwell, que promoveu uma poderosa unificação de conceitos, não foi simplesmente aplicada na invenção do rádio ou da TV; o problema não se resumia em saber que a transmissão de ondas eletromagnéticas era possível e compreender por que; era necessário, sobretudo, encontrar maneiras de gerar e detectar essas ondas. Assim, o crucial no início da história do rádio era o controle de técnicas experimentais.⁴

As técnicas experimentais representam a chave para a compreenderr a interação entre ciência e tecnologia, na opinião de Price, e os instrumentos têm a ver com isso. Por exemplo:

⁴ Ver Gibbons e Johnson [22], onde os autores tratam da história do transistor.

Ptolomeu descreveu elaborados instrumentos de astronomia, mas mas utilizava o olho nu em suas observações, que era um procedimento mais preciso. Por coisas deste tipo é que Price considerava que tais instrumentos eram empregados menos para medir do que para simbolizar, funcionando como substitutos para teorias. Mas nem sempre os instrumentos eram apenas simbólicos. Extremamente importantes são os casos em que os instrumentos antecedem as teorias. O telescópio é um exemplo. Galileu tomou seu telescópio, um instrumento inventado por artesãos, e apontou-o para os céus, descobrindo fatos da natureza que ninguém jamais conhecera - como a existência de montanhas na lua, por exemplo. A utilização do telescópio implicava num processo de descoberta que sequer envolvia um raciocínio profundo ou inteligente. Um novo método passou a existir na ciência, consistindo simplesmente na utilização de instrumentos que permitissem a descoberta de coisas inacessíveis ao uso natural dos sentidos e que não podiam ser inferidas somente pelo raciocínio. Outros instrumentos que proporcionaram este tipo de descobertas foram as bombas de sucção e o termômetro. Mais um ponto importante: uma vez que se dispunha destes instrumentos, seria natural que se procurasse saber por que eles funcionavam. Por exemplo, a posse do telescópio convidou e propiciou o estudo da ótica. A revolução científica, segundo Price, em grande parte se resume à invenção, aperfeiçoamento e uso desta espécie de instrumentos, "que expandiam o alcance da ciência em inumeráveis direções, e quase fortuitamente". Estes instrumentos, que provinham da tecnologia e não da física, e não tinham relação com o desejo de testar teorias, foram os principais responsáveis pelo surgimento da nova filosofia.

Outro exemplo: o anatomista Luigi Galvani pensava estar lidando com o fluido vital ao ver os músculos de sapos mortos se contraírem com a aplicação de choques eletrostáticos. Foi então que ele descobriu, para sua surpresa, que a contração ocorria mesmo se os músculos fossem simplesmente tocados por um metal desconectado do gerador eletrostático. Este estranho fato

observado por Galvani possibilitou que Alessandro Volta descobrisse a eletrólise, explorando as reações de metais com outras substâncias. A eletrólise, por sua vez, foi uma técnica responsável por uma infinidade de progressos na química e na física, tanto quanto na tecnologia. Estas conquistas deveram menos a novas teorias que à exploração experimental, embora a imensa acumulação de dados tenha propiciado a formulação de um grande número de hipóteses a serem testadas.

Outras descobertas acidentais foram a dos raios-X e a da radioatividade, que ocorreram numa época em que os laboratórios de física concentravam-se na busca por novas técnicas, que fossem interessantes, reveladoras e, de preferência, elegantes. Estas técnicas deveriam ser capazes de revelar novos efeitos e coisas desconhecidas sobre o universo, servindo, por exemplo, para a exploração de muitas propriedades pouco conhecidas da matéria. Estas técnicas não determinavam apenas o que podia ser realizado nos laboratórios; elas também determinavam, em grande medida, as próprias descobertas.

Instrumentos tecnológicos como os discutidos por Price têm sido até hoje aplicados à ciência, na experimentação, sempre revelando algo antes desconhecido. Nas palavras de Price, esta espécie de experimentação *"é realmente um tipo de expedição de caça, uma aventura, porque nunca se sabe inteiramente o que se vai apanhar ou o que vai acontecer"*. Não é possível planejar exatamente qual o objetivo a que se pretende chegar, embora se deva dispor de algum objetivo inicial provisório. Quando uma nova técnica é explorada, nem sempre se sabe para onde ela conduzirá. Já é tempo de se reconhecer a tremenda força exógena que o ofício experimental traz à ciência, observa Price. É esta aplicação da tecnologia à ciência que tanto tem, tanto, nos últimos séculos, proporcionado a conquista de novas técnicas e de novos conhecimentos científicos.

* *

O mérito de Price, a meu ver, é o de recuperar o papel

da experimentação e da tecnologia, revelando seu papel em relação à teoria. Todavia, em alguns pontos Price exagera sua ênfase na experimentação e em sua tecnologia. Uma revalorização e maior compreensão da relação entre a prática tecnológica e experimental e a teoria científica parece necessária, porém evitando-se os excessos cometidos por Price.

No próximo tópico abordarei, embora resumidamente, uma reavaliação mais minuciosa e moderada da experimentação na ciência -- mas que, de qualquer modo, em muitos pontos é bastante semelhante à de Price.

6.1.2 - Experimentação

A importância que Hacking [25] atribui à experimentação na ciência está voltada ao seu argumento em favor do realismo. Hacking defende um anti-realismo teórico e um realismo acerca de certas entidades. Sua posição é muito próxima daquela de Cartwright, embora esta última concentre-se nos modelos e aproximações, enquanto Hacking enfatiza a experimentação. Ambos concordam, porém, que seus trabalhos são complementares.

Hacking atribui o caráter inconclusivo das discussões sobre realismo científico ao fato delas se concentrarem na representação; apesar de interessantes e esclarecedoras, estas discussões deixam de lado a própria realidade representada. A realidade tem a ver com causação; é a intervenção, a possibilidade de utilizar as propriedades causais de uma coisa que nos convence de sua existência. Uma entidade é real quando pode ser usada para intervir no mundo, ou quando nos afeta de algum modo. De acordo com Hacking, foi só a partir da revolução científica que a realidade enquanto intervenção passou a enredar-se com a realidade enquanto representação; a ciência moderna "tem sido a aventura do entrelaçamento entre representação e intervenção".

Na filosofia, observa Hacking, tem sido comum uma desconsideração pela experimentação, pela tecnologia, pelo uso de

conhecimentos para intervir no mundo. Os aristotélicos, por exemplo, preferiam as deduções a partir de primeiros princípios. A revolução científica, porém, resgatou a experimentação. E Francis Bacon foi o filósofo da nova ciência experimental. Hacking vê em Bacon a defesa da tese de que a ciência consiste na conjunção entre razão e experimentação; por isto Bacon censurava os dogmáticos e os empíricos, ou as aranhas e as formigas, e exaltava as abelhas, que unem teoria e experimento, de acordo com a célebre comparação baconiana.⁵ Hacking concorda com Bacon.

Algumas maneiras através das quais a experimentação caracteriza sua relativa autonomia em relação à teoria, precedendo-a ou estimulando-a, são descritas por Hacking. Há por exemplo aquelas observações surpreendentes e inesperadas -- como a dupla refração da calcita, que foi a primeira produtora de luz polarizada conhecida, ou como a difração. Tais observações antecedem as teorias; nenhuma teoria as previa. Pelo contrário, tais observações clamam por uma teoria.

Similarmente, há experimentos que não são guiados por teoria. Neste caso, os experimentadores estão interessados em criar situações para ver qual o resultado; eles querem saber o que acontece quando certos procedimentos são seguidos, quando certas técnicas são empregadas. Os experimentadores não estão interessados em testar alguma teoria. Este tipo de experimentos serve antes de estímulo e contribuição para a produção teórica. Hacking ilustra isto com exemplos extraídos da história da ciência. Resumindo estes exemplos: um experimentador pode contribuir para o estabelecimento de uma teoria em relação à qual ele se mantém cético e desinformado, ou pode contribuir para uma teoria que ele rejeita firmemente, enquanto pensa estar favorecendo sua teoria predileta.

No entanto, não há resultados experimentais completos na ausência de teorias, adverte Hacking. Observações surpreendentes e investigações experimentais podem representar um

⁵ Rossi trata deste pontos em mais detalhes (4.1.3).

bom início de pesquisa, mas não podem chegar muito adiante sem teorias. Ainda assim, trata-se de um começo experimental que precede a formulação explícita de qualquer teoria. Mas isto contraria filosofias orientadas para a teoria -- como a de Karl Popper, por exemplo. Portanto, embora muitos trabalhos experimentais derivem inteiramente de teoria, é igualmente verdade que muitos experimentos são pré-teóricos e até dão origem a desenvolvimentos teóricos.

Há alguns casos, ainda, em que uma pesquisa teórica e outra experimental seguem de modo independente, inicialmente, e então se entrelaçam. Hacking cita dois exemplos. Em ambos, uma mentalidade orientada para a teoria introduz uma distorção na história destes casos. Em 1936, dois experimentadores descobriram uma nova partícula subatômica, o méson, que foi desde logo relacionada a uma partícula prevista num certo trabalho. Pensava-se que os experimentadores haviam procurado e encontrado a partícula prevista teoricamente. No entanto, eles nem sequer conheciam o trabalho teórico em questão, quando realizaram seus experimentos. Em 1947 outra partícula subatômica foi descoberta, o muon, que atendia melhor aos requisitos teóricos em questão, e que constatou-se ser uma partícula inteiramente distinta dos mésons.

O segundo exemplo envolve pesquisas da "Bell Telephone Laboratories", num estudo de radioastronomia experimental que pretendia identificar as fontes de ruído estático nas recepções de rádio. Os pesquisadores identificaram algumas fontes, mas, apesar de muito esforço, não conseguiram eliminar um ruído que parecia provir de todas as direções do espaço. Para eles pesquisadores, aquela fonte de radiação homogênea no espaço não fazia nenhum sentido, deixando-os inteiramente perplexos. Na mesma época, uma pesquisa teórica especulava em torno da hipótese de que o universo havia se originado de uma "Big Bang", e que desta explosão original devia restar uma temperatura residual, detectável sob a forma de sinais de rádio. As duas pesquisas, a experimental e a teórica, convergiram então de forma

extraordinária, embora tivessem se desenvolvido independentemente até ali. Os experimentadores determinaram exatamente qual era a temperatura residual prevista apenas em termos qualitativos na teoria da Big Bang, e sem nenhum conhecimento daquela teoria. O experimento deu força à teoria, enquanto que a teoria forneceu uma justificação para os resultados de outra forma incompreensíveis do experimento. Todavia, não faltou alguém que distorcesse estes fatos, afirmando que os experimentos haviam sido realizados simplesmente para testar a teoria da Big Bang. Outra forma de experimentação apontada por Hacking é a invenção. O exemplo que ele aponta é o da termodinâmica, em que a invenção prática conduziu gradualmente à análise teórica.⁶ Hacking acentua o papel da tentativa-e-erro nas invenções -- o que não me prece totalmente correto, pois informações teóricas auxiliam as pesquisas tecnológicas, em geral (conforme argumento no capítulo III, especialmente).

A pesquisa experimental pode conduzir ao estabelecimento de leis experimentais ou fenomenológicas, que ficam como que esperando por uma teoria que as explique, que possa coordená-las, ou reuni-las sob uma mesma perspectiva teórica. Em certos casos, é possível inferir, de um modo indutivo, proposições que descrevam aquilo que foi observado experimentalmente.⁷ No entanto, nem sempre é possível extrair uma teoria diretamente dos dados, organizando-os através de alguma forma de indução, de uma analogia ou de uma generalização; considerações gerais independentes dos dados que se pretende explicar podem ser necessárias. Como exemplo, Hacking cita algumas leis fenomenológicas da física do estado sólido, que não

⁶ No capítulo III abordei em maiores detalhes este exemplo.

Outro exemplo de teoria originada a partir de pesquisas tecnológicas é o da teoria matemática da informação, proveniente da tecnologia de telecomunicações.

⁷ Simon [61] trata de algo assim, mais detalhadamente.

podiam ser explicadas, até que a mecânica quântica o conseguisse -- abrindo então novas perspectivas. Mas de forma alguma a mecânica quântica podia ser de algum modo inferido daquelas leis fenomenológicas -- ou de outros dados empíricos. De qualquer maneira, aquelas leis fenomenológicas tornaram-se conhecidas bem antes que qualquer teoria as pudesse prever ou explicar, mostrando uma vez mais a relativa autonomia da experimentação.

Em resumo, o que Hacking pretende dizer é que a teoria não pode avançar muito sem a experimentação e vice-versa. Teoria e experimentação mantêm um certo grau de autonomia, mas são na verdade interdependentes. Isto é basicamente o mesmo que sustento acerca da ciência e da tecnologia. Só que Hacking, no entanto, enfatiza as relações entre teoria e experimento quase que apenas enquanto atividades voltadas para a investigação desinteressada do mundo, e não para a prática utilitária. Na tecnologia, porém, prática utilitária e investigação curiosa sobre o mundo se entrelaçam. Ao mesmo tempo, experimentação é uma marca característica da tecnologia, assim como a teoria é característica da ciência. Mas, na tecnologia moderna, experimento e teoria se entrelaçam, assim como na ciência moderna. Portanto, ciência e tecnologia se entrelaçam, cada uma adotando de forma crescente aquilo que antes era mais peculiar à outra. Por isto, considero que a experimentação deve ser analisada também naquelas ocasiões em que ela é motivada por interesses utilitários. Noutros termos, penso que a experimentação na história da tecnologia também deve ser enfatizada -- como no caso do engenho a vapor e da termodinâmica, para citar um exemplo clássico.

O estudo da experimentação, da maneira como faz Hacking, parece-me extremamente relevante para a análise da relação entre ciência e tecnologia. A razão é óbvia: a experimentação é com certeza, em geral, mais característica da tecnologia do que da ciência. Por isso acho que seria interessante que Hacking tivesse refletido um pouco mais sobre a pesquisa experimental na tecnologia, motivada por interesses

utilitários. Mas ele concentra-se sobre o conhecer, compreender, explorar, investigar "desinteressados"; Hacking não se preocupa se eventualmente a motivação para uma pesquisa é prático-utilitária, em vez de uma "desinteressada" curiosidade sobre o mundo. Esta aparente indiferença de Hacking pela utilidade da pesquisa não deixa de ser surpreendente, sabendo-se do grande apreço que ele demonstra pela filosofia de Francis Bacon; pois ele parece mesmo não se importar muito com este aspecto que Bacon tanto enfatiza, a prática utilitária. De qualquer forma, como a experimentação está intensamente conectada à tecnologia, a preocupação de Hacking com a experimentação na ciência acaba repercutindo na relação entre ciência e tecnologia.

Na verdade, acredito que a razão pela qual Hacking não dá maior atenção à tecnologia, apesar de seu tema principal ser a experimentação, resulta de seu interesse focalizar este tema. O que leva Hacking a considerar a experimentação é o fato de ter encontrado nela um argumento para o realismo. Hacking constrói a sua versão de realismo científico apoiado sobretudo em considerações envolvendo a experimentação. Portanto, a preocupação de Hacking não é com a tecnologia, mas com o realismo.

* *

Hacking não pretende considerar a observação enquanto fonte de dados para o teste ou sustentação de teorias, da qual costumam tratar os filósofos da ciência, nem quer considerar as observações enquanto resultados a serem descritos em termos linguísticos. Observar, no sentido que Hacking deseja enfatizar, significa estar atento para o que ocorre num experimento, perceber se o desempenho de um equipamento está sendo satisfatório, saber se algo peculiar, diferente ou inesperado está ocorrendo na experiência. Neste sentido, observação é uma habilidade, que pode ser aperfeiçoada com a prática, o treinamento, a familiaridade com os instrumentos e com as situações nas quais o observador trabalha. A observação é

necessária para fazer com que um experimento seja realizado corretamente, para avaliar se esta realização está sendo satisfatória, ou se toda a instrumentação está em condições adequadas de funcionamento. Portanto, Hacking não está interessado somente nos enunciados observacionais.

Hacking rejeita a distinção entre entidades teóricas e observacionais, e também rejeita a alternativa que consiste em considerar toda observação impregnada de teoria. Como um realista, ele não reconhece nenhuma distinção significativa entre teórico e observável. Além do mais, as duas posições rejeitadas por Hacking têm em comum a tendência a reduzir a experimentação a seus resultados expressos em enunciados - impregnados de teoria ou não.

Há aspectos da observação que nada dependem da teoria, insiste Hacking, ao menos não de qualquer teoria científica explicitamente formulada. Por exemplo, técnicos de laboratório são freqüentemente capazes de realizar observações ou, inclusive, de conduzir experimentos, sem conhecerem teoria. Experimentação e observação dependem de habilidades, as quais por sua vez não dependem de teoria. Por isso experimentos podem ser realizados com sucesso até mesmo quando orientados por uma teoria falsa - as pesquisas experimentais de William Herschel sobre calor radiante são um exemplo disto. Mais do que isto, as habilidades experimentais são utilizadas para perceber os dados que qualquer teoria precisa atender. A observação implica em habilidade, em um fazer, então pode ser completamente reduzida a enunciados. Nem tampouco pode sobreviver inteiramente se a teoria. Parte do realismo de Hacking provém do modo pelo qual ele considera este aspecto da observação e experimentação. Para Hacking, o que os experimentos proporcionam é um acesso aos objetos. Por exemplo, um acesso ao elétron, não ao elétron de Bohr, ao de Rutherford, ao de Lorenz, mas ao elétron, sobre o qual pode haver teorias diferentes e até conflitantes, mas que todas elas pretendem representar.

* *

Em vez da dicotomia entre teoria e observação, Hacking prefere considerar uma divisão tríplice: especulação, cálculo e experimentação. Especulação, neste contexto, significa uma representação apenas qualitativa do mundo, podendo constituir-se de modelos físicos e matemáticos. Estas representações fornecem apenas a compreensão de alguns aspectos gerais do mundo, sem chegar a afirmações particulares, concretas, em termos quantitativos. No outro extremo fica a experimentação, com sua relativa autonomia. É o cálculo que estabelece a ponte entre a especulação e a experimentação, enredando a primeira ao mundo e aumentando o alcance e potencialidade da segunda. Cálculo não significa apenas computação, pois implica também alteração ou fornecimento de uma estrutura matemática que permita a dedução de consequências testáveis -- o que as especulações qualitativas não podem fazer.

Com esta divisão tríplice da atividade científica, Hacking pretende não se afastar muito do esquema tradicional, hipotético-dedutivo. Ele admite que há em geral dois tipos de modelos: os que se aplicam aos fenômenos e os que satisfazem as teorias. Mas, para ele, isto ocorre porque a complexidade matemática envolvendo as teorias é muito grande, tornando a simplificação imperativa. Devido a estas simplificações é que os modelos teóricos não descrevem exatamente os fenômenos. Mas Hacking acredita que estas simplificações fornecem boas aproximações.

Mas Hacking acredita que as teorias não podem ser totalmente unificadas. A não unificação não é apenas uma situação atual transitória, anterior à descoberta de todas as leis da natureza. Hacking acredita que o ideal da ciência é diversificar, em vez de unificar; embora possa haver unificação em algumas áreas, a história da ciência mostra que cada vez há uma maior diversificação. A crença de Hacking é que as teorias tendem a ser verdadeiras, mas somente dentro dos domínios bem delimitados de cada teoria. Seria como se o mundo tivesse cada

uma de suas partes considerados separadamente, sobre cada parte podendo haver uma teoria aproximadamente verdadeira, porém desconectada das teorias acerca das outras partes.

* *

Os experimentos não servem apenas para descobrir ou observar os fenômenos: mais frequentemente eles criam os fenômenos. Para Hacking, é mais apropriado designar como fenômenos aquilo que ocorre no mundo sem nenhuma intervenção humana, aquilo que é apenas observado. Assim, parece adequado dizer que os fenômenos regulares são descobertos. Por outro lado, há fenômenos que precisam ser criados. Trata-se de regularidades que não são encontradas espontaneamente no mundo, dependendo da intervenção humana para ocorrerem. Em geral, estas regularidades criadas são denominadas *efeitos* - efeito Faraday, efeito Hall, efeito fotoelétrico, etc. O efeito Hall, por exemplo, pode ocorrer na natureza, mas em interação com vários outros processos, em fenômenos bastante complexos. Só através da intervenção humana o efeito Hall pode ser isolado e apresentar-se de uma forma purificada, e isto não pode ser encontrado espontaneamente na natureza. Segundo Hacking, fenômenos espontâneos regulares são raros na natureza; em geral, eles têm de ser criados cuidadosamente, o que exige habilidade. Experimentação é um fazer, uma habilidade. E depende da familiaridade com os instrumentos, com seu funcionamento e suas peculiaridades, com a situação na qual se trabalha.

Hacking afirma claramente que a criação dos fenômenos depende da habilidade e da tecnologia utilizadas na experimentação. Mas, novamente, Hacking está interessado na tecnologia e nos experimentos dentro dos laboratórios científicos somente. Ele nada diz acerca da criação de fenômenos na tecnologia utilitária, cuja maior motivação não é a curiosidade desinteressada, mas a vontade de atender a alguma finalidade prática. Em suas investigações utilitárias, a tecnologia frequentemente cria fenômenos que não existiam espontaneamente na

natureza, o que me parece ser uma característica mais cara à tecnologia que à própria ciência. Para concretizar seus projetos, a tecnologia tem de descobrir regularidades, ou encontrar maneiras de criá-las. A necessidade de criar situações adequadas conduz com frequência a tecnologia utilitária -- para usar os termos de Hacking -- à criação de fenômenos. Qualquer fenômeno indissociavelmente relacionado a instrumentos tecnológicos -- sejam utilitários ou científicos -- é um fenômeno "criado", no sentido de Hacking. Uma transmissão de TV é um "fenômeno criado", pois ondas eletromagnéticas carregando programas de TV não são encontradas espontaneamente no mundo, sem a intervenção humana. São os instrumentos -- utilitários ou não -- que criam fenômenos. A necessidade de dispor de métodos de projeto eficientes pressiona em direção à obtenção de formas de controlar os fenômenos de maneira regular. No entanto, Hacking nada diz acerca destas características da tecnologia utilitária, apesar de estarem inteiramente dentro do contexto que ele discute - e apesar de sua admiração pela filosofia de Bacon.

* *

A medição tem um papel importante na ciência, e não apenas para testar teorias. Em parte, a medição segue seus próprios objetivos. Para medir, é necessário dispor de técnicas. Inventar e aperfeiçoar técnicas, ampliando as possibilidades de medir, são exemplos de objetivos endógenos da medição. E técnicas novas ou mais precisas permitem realizar outras medições.

Como tudo que envolve técnica, uma grande dose de habilidade é requisitada na medição. É claro que teorias costumam ser necessárias para o projeto, construção e operação de instrumentos nos experimentos de medição. É evidente também que a medição costuma estar a serviço da teoria, do teste de hipóteses. Mas nem sempre é isto que ocorre. Albert Michelson ganhou o Prêmio Nobel por suas experiências sobre a velocidade da luz, segundo Hacking, devido a sua técnica e precisão, e não pelo impacto de seus resultados sobre as teorias do éter. Outro Prêmio

Nobel, Robert Millikan, contribuiu não apenas com a confirmação da existência de uma unidade elétrica mínima, mas sobretudo por sua precisa técnica para medir a carga do elétron.

As teorias não podem determinar as constantes da natureza, sendo necessário recorrer às medições empíricas. Mas a medição destas constantes é um objetivo a ser perseguido de modo parcialmente independente da teoria. Isto explicaria a obceção com a precisão de certas medidas, mesmo quando as teorias não requerem o grau de precisão procurado na medição. De acordo com Hacking, este é o caso com a medida de certas constantes da natureza. Frequentemente as teorias existentes não sabem o que fazer com o grau de precisão obtido, pois qualquer aplicação na ciência do valor destas constantes poderia prescindir de algumas casas decimais obtidas. Além disso, nem sempre é apenas o resultado da medida que importa, mas o método de medição empregado. Por exemplo, a medição do peso da Terra por Cavendish não foi importante por permitir a determinação da constante gravitacional, que já era satisfatoriamente conhecida para qualquer propósito científico. O maior mérito de Cavendish foi o modo pelo qual realizou seu experimento, através de pesos artificiais, utilizando-se somente de seu laboratório.

A ligação entre a medição e a tecnologia, na experimentação científica, é portanto enfatizada por Hacking, bem como o fascínio pela medição e sua considerável autonomia em relação à teoria. Hacking observa que a medição é bem mais antiga que a ciência moderna, remontando até à Babilônia. Mas ele nada diz a respeito da medição na tecnologia utilitária. Similarmente à "criação de fenômenos", a medição parece-me talvez até mais característica da tecnologia utilitária que da tecnologia empregada nos laboratórios científicos. Sem dúvida, ao menos o uso intensivo da medição parece mais antigo na tecnologia que na ciência. Na tecnologia utilitária, a medição é importante quase sempre. Quantificar as grandezas é primordial para as atividades práticas -- para avaliar desempenho e eficiência, por exemplo. É bem provável que tenha sido principalmente com a tecnologia que a

ciência aprendeu a medir -- e também a fazer experimentos --, ao menos inicialmente.

* *

O que conduz à crença na existência de entidades como o létron, de acordo com Hacking, é a possibilidade delas serem utilizadas para intervir no mundo. Se as *propriedades causais* do létron são bem compreendidas, elas podem ser utilizadas para compreender e intervir em outras partes da natureza. Estas Propriedades podem permitir que o létron seja utilizado na construção de instrumentos que permitam interferir sistemática e regularmente em certas partes da natureza. Se o létron pode ser manipulado assim, aí está uma razão suficiente para nos convenceremos acerca de sua existência. Este é o que Hacking chama de *argumento experimental* em favor do realismo.⁸

O létron pode ser utilizado de diversas maneiras na experimentação; e também há diferentes teorias, modelos, aproximações sobre o létron, complementares ou até incompatíveis entre si. O realismo de Hacking é sobre entidades, menos que sobre teorias. Trata-se de um realismo acerca do estado atual da ciência, ao contrário do realismo sobre teorias, que diz respeito sobretudo ao estágio que a ciência (possivelmente) atingirá. Ficamos convencidos da existência de uma entidade quando ela pode ser manipulada, quando a compreensão de suas propriedades causais possibilita a construção de instrumentos complexos. Caso contrário, não há razão para acreditar em sua existência. Há um século atrás, quando ainda não havia uma *tecnologia* sofisticada envolvendo o létron, sua manipulação e controle, não existia razão para se acreditar em sua existência, como há hoje. O létron era então apenas uma ficção eficiente, que propiciava boas previsões e explicações. Nenhuma teoria argumenta melhor em favor do realismo que a experimentação, a instrumentação, a *engenharia*. De acordo com Hacking, é a engenharia que permite

⁸ Cartwright [13] tem uma posição muito semelhante.

escapar ao universo da representação, onde situam-se as teorias. É a habilidade em manipular as entidades, em controlar suas propriedades causais, que nos convence da existência dessas entidades.

6.1.3 - "Indução"

Para se caminhar da prática à teoria, o mais indicado é seguir alguma forma de indução. É para isso que Simon [61] aponta. Na introdução de seu livro, Simon fala das vantagens para a teoria quando entramos em contato com o mundo real, quando ficamos expostos à realidade concreta. A aplicação é "uma fonte indispensável de novos problemas e novas idéias", evitando que a teoria perca-se num formalismo e elegância vazios. Simon diz isto pensando na importância das aplicações específicas, da prática da ciência. Penso que estas considerações estendem-se à tecnologia em geral.

Simon considera inaceitável tratar as hipóteses como se elas caíssem dos céus, ou fossem enviadas por Zeus, à maneira da perspectiva hipotético-dedutivista. Ele recusa a separação entre hipóteses e dados, e enfatiza que a obtenção de generalizações e explicações a partir dos dados é algo fundamental. É o que Peirce e Hanson chamavam 'retrodução'.

O argumento de Simon apoia-se em sua teoria psicológica da resolução de problemas (cognitivos). De acordo com este argumento, o sujeito não formula hipóteses ao acaso, comparando cada uma delas aos dados, até encontrar a solução; em vez disso, ele olha para o conjunto dos dados e procura deles extrair informações, utilizando essas informações obtidas diretamente dos dados para construir suas hipóteses.

Não penso que as hipóteses sejam geralmente obtidas desta maneira, como pretende Simon. Frequentemente as hipóteses não são extraídas dos dados que elas descrevem, mas provêm de outras considerações, especialmente as teóricas, apriorísticas.

Simon também acredita que os padrões de descoberta,

isto é, os processos de obtenção de hipóteses a partir dos dados constituem uma classe de número muito reduzido de elementos. Mas esta é outra afirmação que me parece no mínimo duvidosa. Do fato de que a obtenção de hipóteses a partir dos dados frequentemente siga certos padrões não significa que haja um número fixo destes padrões de relação, muito menos que este número seja pequeno, como pretende Simon.

Ainda assim, muitas vezes hipóteses são obtidas a partir dos dados, mais ou menos como sugerido por Simon. O que Simon propõe é algo assim: começando-se com dados empíricos, em vez de hipóteses, procuram-se os aspectos intrigantes e notáveis, os aspectos que se destacam e marcam os dados, assinalando algo peculiar, como, por exemplo, alguma regularidade. Trata-se de extrair um padrão dos dados, propondo alguma generalização capaz de descrever-los resumidamente, de um modo aproximado. Seria desejável, a seguir, procurar melhorar a aproximação. O próximo passo seria encontrar uma explicação para a generalização, algo de que ela possa ser derivada. As teorias gerais explanatórias vão além da generalização originária, fazendo previsões que sugerem a realização de testes para estas teorias.

Não me parece que as teorias gerais explanatórias possam ser consideradas como obtidas a partir dos dados, como aparente Simon sugere: isto deve ser algo raro. Claro que os dados têm um papel importante na formulação de teorias gerais, explanatórias, mas não o papel mais importante, em geral; outras considerações apriorísticas devem ser acrescentadas -- como, por exemplo, simplicidade, simetria ou conveniências matemáticas.

No entanto, o ponto mais interessante proposto por Simon, a meu ver, é a obtenção da generalização inicial, aquela que descreve os dados -- e, na verdade, é nisto que ele se concentra. Simon observa muito bem que o problema clássico da indução não se manifesta neste tipo de generalização. Com efeito, tais generalizações extraídas "diretamente" dos fatos, estrito senso, não promovem indução alguma: tudo o que elas pretendem é descrever os dados -- o que elas podem fazer melhor ou pior. O

problema só aparece quando se pretende estender a aplicação destas mesmas generalizações a outros casos, além daqueles a partir dos quais a generalização foi extraída. Só aí ressurgue o problema da indução. A generalização precisa ser testada para os outros casos -- o que em nada altera sua capacidade de descrever os dados a partir dos quais ela foi obtida.

Esta generalização descritiva apenas recodifica, a seu modo, um conjunto finito de dados empíricos, deles extraindo um padrão. Simon enfatiza que processos de tentativa-e-erro seletivos constituem as melhores estratégias para a obtenção deste tipo de generalização. Para que a busca não seja aleatória, é conveniente dispor de estratégias heurísticas, de modo a reduzir o número de tentativas possíveis. Portanto, as descobertas que parecerão mais criativas deverão ocorrer naquelas áreas nas quais não se dispõe de heurísticas poderosas. Para Simon, estas estratégias propiciam a obtenção de leis a partir de um conjunto de dados, mesmo se não há qualquer teoria que possa auxiliar nesta espécie de processo indutivo.

* *

O que me interessa no trabalho de Simon não é tanto sua preocupação com a definição de processos heurísticos, muito menos sua esperança de que um reduzido número destes princípios seja responsável pela maioria, senão pela totalidade, das descobertas científicas.

O importante é sua idéia de que os dados podem ser usados para a inferência de leis, mesmo se não se dispõe de teorias que auxiliem nesta inferência. Mas estas generalizações ou leis obtidas dos dados são apenas descritivas. Elas extraem o padrão do conjunto de dados empíricos, e estendem-se indutivamente apenas para os dados da mesma espécie que aqueles a partir dos quais a lei foi obtida. Trata-se, portanto, de leis empíricas, experimentais, fenomenológicas. Trata-se de uma contribuição para a compreensão da descoberta de leis fenomenológicas.

Outro ponto importante é que as estratégias de Simon sempre reservam um espaço para a tentativa-e-erro. Em geral, as descobertas precisam contar ao menos em algum grau com o ensaio-e-erro, com o acaso -- tudo aquilo que é freqüentemente censurado na tecnologia.

6.1.4 - Tentativa-e-erro

Wigglesworth [67] é outro que deposita confiança na ajuda que os métodos empíricos provenientes da prática podem prestar à ciência. Ele fala, por exemplo, do conhecimento empírico dos biólogos aplicados, que contribuiu decisivamente para a compreensão e difusão das implicações do darwinismo. Devido a um contato mais direto e detalhado com as espécies e seus modos de vida, foi provavelmente o biologista prático, e não o geneticista, que descobriu as variedades e raças e sua relação com a formação das espécies. A ecologia também tem muito a aprender com o profundo conhecimento que o biologista aplicado é precisa obter, por exemplo, acerca do mosquito da malária ou de uma praga da lavoura, a fim de chegar a resultados práticos. Também na prática médica, por vezes certos procedimentos desautorizados por uma teoria, como a prescrição de algum medicamento, foram posteriormente recuperados por uma outra teoria, mostrando que os procedimentos empíricos eram de fato eficientes.

Segundo Wigglesworth, com muita freqüência as teorias científicas são formuladas somente depois que certas práticas puramente empíricas já estão estabelecidas e consagradas, às vezes muito tempo antes. Nestes casos, muito comuns, a ciência não é responsável pelo estabelecimento daquela prática. Tudo o que a ciência faz nestes casos é fornecer uma explicação racional para aquela prática. Mas esta explicação é muito importante, porque ela dá estabilidade e confiabilidade ao conhecimento prático, inserindo-o num contexto teórico que serve inclusive como fundamento para novos avanços empíricos. Além do mais, há um

limite para a quantidade de conhecimento que se pode reter, de modo que as leis gerais (explanatórias) fornecem um meio econômico de acesso a um número muito maior de casos do que seria possível através apenas de conhecimentos prático-empíricos. De qualquer modo, as explicações teóricas freqüentemente só são possíveis depois que uma prática já está estabelecida, a qual deve então ter estimulado a busca da explicação teórica, a fim de tentarem de compreender porque aquela prática funcionava satisfatoriamente.

Por isso Wigglesworth enfatiza o valor do que ele denomina 'método empírico de experimentação direta' para a ciência. A experimentação direta nada mais é do que a tentativa de resolver um problema empiricamente. O lema, neste caso, é experimentar, em vez de pensar. A experimentação é freqüentemente o modo mais rápido de alcançar um objetivo prático. Este empirismo cru freqüentemente conduz a observações surpreendentes, que jamais poderiam ser feitas se cada passo exigisse uma justificação racional. Muitas descobertas importantes na ciência foram feitas por acaso. Wigglesworth considera limitado o método de formulação da hipótese antes da realização dos experimentos. A antecipação da experiência mostra que, com muita freqüência, é a teoria que corre atrás das hipóteses que possam justificar racionalmente práticas já estabelecidas. Grande parte da pesquisa científica consiste em explicar os resultados que já são conhecidos por métodos puramente empíricos. É muito comum que experimentos aleatórios constituam o meio mais rápido de obter resultados desejados.

Wigglesworth cita alguns exemplos. As propriedades inseticidas do DDT foram descobertos por acaso -- ou, na melhor das hipóteses, ela foi orientada por princípios teóricos falsos. Outro inseticida, o isômero gama de hexacloreto benzeno, foi descoberto em termos puramente empíricos, experimentando todo composto químico disponível quanto a seu potencial inseticida. Com a descoberta destes dois inseticidas, notou-se imediatamente que ambos eram compostos aromáticos clorados, e passou-se então a

clorar qualquer composto aromático, na expectativa da descoberta de novos inseticidas, o que resultou numa série de potentes inseticidas sintéticos. No entanto, ninguém tinha sabido sobre quais princípios fundavam-se os efeitos toxicológicos daqueles compostos.

Como se vê, o que Wigglesworth diz a respeito da explicação científica e da 'experimentação direta' serve como ilustração ao que tem sido discutido neste capítulo.

6.2 - Uma curiosidade

A tão bem sucedida tecnologia das catapultas gregas é tema para as considerações de Hacker [24]. As catapultas que utilizavam arcos de madeira (ou de chifre) foram suplantadas pelas catapultas de torsão durante o século IV AC. A torção de compactas e grossas meadas produzia uma força elástica consideravelmente maior que a produzida pela flexão da madeira.

Para o aperfeiçoamento das catapultas de torsão, foi indispensável o trabalho experimental dos chamados 'mecânicos' da Alexandria e do mundo Helenístico. Ao contrário dos cientistas gregos, os mecânicos helênicos demonstravam um vivo interesse nas aplicações práticas de seu trabalho.

Embora a ciência grega tivesse aspectos quantitativos e experimentais relevantes, a importância da observação e do experimento como elo de ligação entre a teoria e o mundo cotidiano não era amplamente aceita, nem era a matemática valorizada fora de alguns poucos campos de pesquisa. Os cientistas gregos buscavam o conhecimento desinteressado, e não se preocupavam com a aplicação de suas descobertas, mesmo quando esta possibilidade era evidente. É célebre a alegação de Plutarco de que Arquimedes repudiava "o sórdido e ignóbil ofício todo da engenharia, e toda sorte de arte que se dirige ao mero uso e lucro". Arquimedes considerava suas invenções mecânicas uma mera diversão: à mecânica faltava o rigor lógico da ciência.

Os mecânicos, porém, trabalhavam numa tradição

distinta, recebendo muito pouca influência da abordagem axiomática da ciência grega. Os mecânicos fundavam-se antes sobre a tradição oriental, anterior à grega: a abordagem aritmética e algébrica dos matemáticos babilônios, que enfatizava a aplicação de métodos numéricos para a solução de problemas práticos. O que distinguiu os mecânicos helênicos da maioria dos cientistas gregos, então, era o esforço por *combinar teoria com utilidade prática*.

Segundo Hacker, os mecânicos procuraram desenvolver as catapultas quase à maneira do que hoje faz a ciência aplicada. Eles desenvolveram um método sistemático para a construção de catapultas, baseado em material empírico expresso em termos exclusivamente numéricos. Nenhuma doutrina ou especulação é adicionada. O objetivo prático é procurado sem o auxílio de qualquer teoria. No entanto, a tecnologia das catapultas foi muito bem desenvolvida, estando solidamente apoiada na investigação experimental. Seus resultados eram matematicamente sistematizados sob a forma de tabelas computacionais, as quais especificavam as características das máquinas a serem construídas. Tudo isto era conseguido apesar dos mecânicos serem incapazes de justificar racionalmente seus resultados, ou de inseri-los num contexto teórico.

As conclusões básicas a que chegaram os mecânicos helênicos foram as seguintes. A chave para o desempenho da catapulta de torção era o diâmetro da meada, o qual determinava também o diâmetro do furo que a aloja. Todos os outros componentes da catapulta eram determinados em relação ao diâmetro deste furo. As proporções de cada parte da catapulta eram estabelecidas experimentalmente, alterando-se sistematicamente suas dimensões e testando os resultados -- variação paramétrica. Segundo Fílon de Bizâncio (250 AC), estes procedimentos empírico-experimentais eram necessários, *por não ser possível encontrar uma solução completa recorrendo-se exclusivamente à razão; muitas descobertas só podiam ser feitas através de tentativas experimentais*.

Além de determinarem as dimensões das partes da catapulta, o diâmetro do furo que abriga a meada era ainda relacionado ao tamanho dos projéteis. Ou seja, a catapulta era projetada especificamente para atirar projéteis de uma determinada proporção, conforme a escolha desejada. Assim, se a catapulta fosse projetada para o arremesso de lanças, o diâmetro do furo para a meada devia ter uma nona parte do comprimento da lança. Para catapultas projetadas para o arremesso de pedras, o diâmetro do furo era relacionado ao peso da pedra: o diâmetro em dedos devia ser igual à raiz cúbica do peso em dracmas mais uma décima parte desta raiz. Estes resultados eram apresentados em tabelas, as quais permitiam ao pessoal técnico dos exércitos a construção das catapultas segundo as especificações desejadas.

Hacker argumenta que este exemplo contraria a afirmação de A. R. Hall, segundo a qual a aplicação da ciência à tecnologia praticamente não ocorreu antes do século dezanove. Hacker acredita que, no desenvolvimento sistemático da tecnologia das catapultas, os mecânicos helênicos trabalharam de um modo muito semelhante à ciência aplicada, utilizando a experimentação e a matemática, possibilitando o projeto e construção de máquinas eficientes e largamente usadas.

* * *

Penso que este trabalho dos mecânicos helênicos é surpreendente, devido aos métodos empregados e da minúcia dos resultados obtidos. Perseguindo tão somente objetivos práticos, no entanto, aqueles mecânicos parecem ter conseguido estabelecer relações entre os componentes da catapulta bastante detalhadas, complexas e satisfatoriamente eficientes. O mesmo vale a respeito das relações entre as catapultas e os projéteis que elas deveriam arremessar. Eles obtiveram, portanto, relações empíricas, experimentais, fenomenológicas. Ao que parece, as relações matemáticas que os mecânicos helênicos estabeleceram para as catapultas, por meio da experimentação, são uma espécie de antecipação das leis fenomenológicas atuais.

6.3 - Explicação, modelos, aplicação

O ponto de vista de Cartwright sobre as teorias científicas, em minha opinião, contribui significativamente para que se comece a entender melhor o papel da teoria na tecnologia e suas aplicações. Embora não seja este seu objetivo básico, Cartwright fornece alguns elementos significativos para o início de uma melhor compreensão do modo como a tecnologia usa a teoria, como altera, adapta ou expande teorias científicas, com o objetivo de aplicá-las na prática tecnológica. Por isto resumo aqui os principais aspectos da visão de Cartwright sobre as teorias e as explicações científicas.

6.3.1 - Leis fenomenológicas

Para Cartwright [13], existem na ciência dois tipos de leis: as fundamentais e as fenomenológicas. A distinção entre lei fundamental e lei fenomenológica não tem nenhuma relação com a distinção que os filósofos da ciência estabelecem entre entidades observáveis e entidades não-observáveis -- ou teóricas.

Basicamente, entidades observáveis são aquelas às quais podemos ter acesso por meio de nossos sentidos, ao menos em princípio. É possível admitir entidades acessadas com o auxílio de instrumentos entre as consideradas observáveis, desde que esses instrumentos não introduzam elementos fundamentalmente distintos da percepção direta pelos sentidos -- os instrumentos podem apenas melhorar ou estender a percepção, mas sem introduzir elementos estranhos a ela. Quanto às entidades não-observáveis, são aquelas postuladas em teorias mas que só podem ser verificadas por intermédio de instrumentos e nunca diretamente pelos sentidos.

Seria possível pensar que leis fundamentais são aquelas que se referem a entidades teóricas, enquanto que as fenomenológicas se restringiriam apenas às observáveis. No

entanto, não é isso o que Cartwright entende por leis fundamentais e fenomenológicas. Leis fenomenológicas designam, na ciência, aquelas leis que descrevem os fenômenos, mas sem fornecer-lhes explicações; enquanto que as leis fundamentais não apenas descrevem os fenômenos, mas sobretudo os explicam. Para Cartwright, portanto, a oposição entre fundamental e fenomenológico não tem nada a ver com oposição entre teórico e fenomenológico (ou observável). Quando os cientistas falam em uma lei fenomenológica, eles podem perfeitamente estar se referindo a uma lei que faça referência a entidades não-observáveis; para os cientistas, leis fenomenológicas de modo algum restringem-se apenas ao que é observável.

Cartwright é fortemente anti-realista acerca de leis e teorias -- embora realista no que diz respeito a entidades. Ela acredita que o grande mérito das leis fundamentais, das quais se diz que explicam os fenômenos, está no fato de que elas conseguem organizar e classificar os fenômenos de maneira eficiente e elegante, permitindo a realização de cálculos consideravelmente precisos; devido a seu grande poder preditivo e explanatório, as leis fundamentais representam uma maneira confortável de tratar de um grande número e diversidade de casos, pois elas também se caracterizam por uma grande generalidade. Cartwright discorda dos que acreditam que acreditam as leis fenomenológicas podem em geral ser deduzidas das leis fundamentais -- como é o caso dos realistas. Para Cartwright, as leis fundamentais são poderosamente explanatórias e preditivas, mas o conteúdo do conhecimento científico é expresso pelas leis fenomenológicas, que descrevem os fenômenos com maior precisão e exatidão que as leis fundamentais. Para ela, a generalidade e poder explanatório das leis fundamentais devem-se justamente a uma menor proximidade com a realidade. As leis fenomenológicas é que tendem a ser mais verdadeiras; elas conseguem descrever com maior precisão os fenômenos particulares aos quais elas se referem, justamente por estarem restritas a estes casos particulares.

Os realistas, por exemplo, consideram que as leis

fundamentais são mais verdadeiras que as fenomenológicas e por isso acreditam que as últimas podem ser derivadas das primeiras. Cartwright, ao contrário, acredita que são as leis fenomenológicas que estão mais próximas da verdade e, portanto, em geral não é possível derivar as leis fenomenológicas das fundamentais. Cartwright reconhece que, recorrendo-se ao estágio atual da ciência, não é possível chegar a uma conclusão definitiva acerca de quem tem razão nesta questão. O argumento dos realistas é de que a unificação da física estará completa algum dia, embora hoje não seja ainda possível derivar todas as leis fenomenológicas das fundamentais; além disso mesmo que se conhecessem todas as leis fundamentais, seria necessário conhecer também todas as condições de contorno, bem como a solução da complexa matemática que resultaria da imposição das condições de contorno reais nas equações fundamentais. Cartwright, por outro lado, reconhece que as leis fundamentais são importantes, bem como as tentativas de unificação, mas argumenta que é improvável que se possam derivar todas as leis fenomenológicas de um pequeno número de leis fundamentais. Talvez seja possível derivar as leis fenomenológicas de outras leis, as quais, no entanto, devem ser ao menos tão particulares e específicas quanto as leis fenomenológicas que delas derivam.

De qualquer maneira, Cartwright e os realistas concordam num ponto: atualmente, na ciência, há muitas leis fenomenológicas que não podem ser deduzidas das leis fundamentais. Na ciência, hoje, proliferam leis fenomenológicas que descrevem os fenômenos dos quais tratam melhor que qualquer lei fundamental conhecida.

6.3.2 - Considerações iniciais

O principal objetivo de Cartwright é mostrar que as leis fundamentais da física não descrevem corretamente os fatos -- as leis fenomenológicas fazem isso melhor. Para ela, a crença dos realistas na verdade das leis fundamentais deriva do mau

modelo da explicação que eles adotam, que liga as teorias diretamente à realidade -- a perspectiva genérico-específica, nomológico-dedutiva da explicação, ou das leis de cobertura.

Segundo Cartwright, a explicação na física envolve duas atividades completamente distintas: fornecer as causas de um fenômeno e ajustá-lo a um quadro teórico (matemático) geral. O problema com os realistas está em acreditar que estes dois aspectos da explicação sempre aparecem juntos nas leis científicas. Para Cartwright, o grande poder das explicações teóricas reside na capacidade das leis e equações fundamentais em reunir sob elas uma vasta variedade de fenômenos, de modo que essas leis conseguem classificá-los, organizá-los e prevê-los, possibilitando o cálculo eficiente e elegante. É daí que as leis teóricas extraem um poderoso potencial explanatório.

Devido à explicação causal e a teórica serem distintas, usualmente existem tratamentos teóricos alternativos para um mesmo fenômeno; modelos diferentes ajustam-se a propósitos diversos; não é possível indicar qual modelo é o mais correto, nem qual conjunto de equações é mais verdadeiro. Por outro lado, não há possibilidade de explicações causais alternativas serem aceitas simultaneamente; aceitar uma explicação causal para um fenômeno implica em rejeitar todas as outras. A proposição que atribui uma certa *causa* a um fenômeno é verdadeiro ou falso, mas a escolha das leis teóricas que "regem" um fenômeno é uma questão de conveniência.

Cartwright é uma realista acerca de entidades, mas anti-realista acerca de teorias. Ela rejeita fortemente o argumento da "inferência pela melhor explicação", através do qual os realistas afirmam que, do fato de uma lei teórica ser capaz de explicar suficientemente uma grande variedade de fenômenos, pode-se inferir que essa lei é verdadeira. Cartwright argumenta exatamente o contrário: o grande poder explanatório de uma lei é um índice de sua falsidade. No entanto, Cartwright defende a "inferência pela causa mais provável"; ela acredita na existência de entidades afirmadas nas declarações causais que explicam

efeitos observados satisfatoriamente. O que justifica a existência de entidades teóricas não são as leis fundamentais da natureza, mas sim as proposições que descrevem com exatidão as propriedades e o comportamento dessas entidades, de modo a explicar certos efeitos específicos. De efeitos concretos e altamente específicos é possível inferir suas causas, igualmente concretas e extremamente particulares. E a única maneira de fazer isso é recorrendo-se à ⁹ Ao contrário da explicação teórica, que é *sintática* -- relações detutivas, conexões lógico-abstratas --, a explicação causal apoia-se na infência a partir de efeitos concretos e específicos. Os resultados deste tipo de procedimentos são a obtenção de "princípios causais extremamente detalhados e leis fenomenológicas concretas".

Para Cartwright, explicação e verdade são coisas completamente distintas na ciência. Costuma-se considerar que a explicação é uma consequência da verdade. Este ponto de vista é reforçado pelo modelo da explicação por leis de cobertura. Na versão dedutivo-nomológica, "A" explica "B" se é possível deduzir, por meio das leis da natureza, a ocorrência de "B" a partir da ocorrência de "A". A crítica usual à explicação por leis de cobertura é a pouca seletividade: é muito difícil eliminar de "A" o que não é estritamente relevante para a dedução

⁹ Cartwright adota neste ponto a mesma posição que Hacking [25]. A experimentação implica na manipulação das causas, verificando como variam os efeitos. Para Hacking, o experimentalista acredita nas entidades teóricas porque ele utiliza tais entidades para *criar* novos fenômenos, isto é, para provocar fenômenos que não são encontrados espontaneamente na natureza. Quando se dispõe de maneira detalhadas e específicas de intervir em certos processos por meio de determinadas entidades teóricas, então há boas razões para acreditar nessas entidades; especialmente quando tais entidades servem de explicações causais a uma variedade de efeitos, obtidos por meio de processos bastante distintos entre si.

de "B". Cartwright, porém, dirige sua crítica para a direção contrária: as leis de cobertura são seletivas demais, se consideradas rigorosamente, e por isso são muito raras -- só há leis de cobertura, a rigor, em casos muito específicos. Ou seja, raramente as leis de cobertura "cobrem" efetivamente muitos casos.

Leis de cobertura genuínas dificilmente são encontradas. Em geral, leis de cobertura são, de fato, leis *ceteris paribus*, isto é, leis verdadeiras somente sob condições especiais, normalmente ideais. Costuma-se pensar que as leis *ceteris paribus* continuam verdadeiras quando aplicadas em condições diferentes, embora os resultados não sejam tão bons. Cartwright nega isto. Fora dos poucos casos definidos pelas condições especiais ou ideais sob as quais elas valem, as leis *ceteris paribus* são falsas, decididamente falsas, e não aproximadamente verdadeiras. Em resumo, se as leis *ceteris paribus* são tomadas como realmente verdadeiras, então elas devem se restringir àqueles poucos casos que atendem às suas condições especiais; por outro lado, se aplicadas a outros casos além daqueles poucos, então as leis *ceteris paribus* são falsas. Ou, em outros termos: se as leis cobrem muitos casos, elas não podem ser verdadeiras; mas se são verdadeiras, elas não podem cobrir muitos casos. Ou ainda: se possuem grande poder explanatório, as leis não podem ser verdadeiras; se verdadeiras, não podem explicar muito.

É isto também o que Cartwright afirma das leis fundamentais: elas só podem ser consideradas verdadeiras no caso de serem leis *ceteris paribus* -- porém, não é isso que se deseja entender por leis fundamentais. Se forem aplicadas a várias circunstâncias, as leis fundamentais são falsas -- e não aproximadamente verdadeiras. As leis fundamentais, na melhor das hipóteses, são verdadeiras apenas sob certas condições especiais, ideais. Elas não descrevem os fatos, pois são falsas; e se forem ajustadas de modo a serem verdadeiras, elas perdem seu poder explanatório.

Cartwright compara as leis fundamentais da física com

as generalizações da biologia ou as regras práticas da engenharia¹⁰: estas últimas não são leis genuínas, pois admitem exceção -- qualquer afirmação geral sobre sistemas complexos, como um organismo vivo ou um rádio, costuma admitir excessões. Porém, generalizações na biologia ou na engenharia descrevem corretamente ao menos a maior parte do que acontece aos objetos de seu domínio, o que não ocorre com as leis fundamentais, que são falsas, se extrapolam seu domínio específico.

O ponto no qual Cartwright insiste é a dificuldade em conciliar poder explanatório e verdade: a ênfase na verdade exclui o poder explanatório e vice-versa. Uma lei *ceteris paribus* só pode ser verdadeira em circunstâncias muito simples ou ideais. Por exemplo, a lei da gravitação universal só é válida nas circunstâncias em que forças gravitacionais são as únicas a atuar; ela não informa o que ocorre quando outros tipo de força atuam ao mesmo tempo que as gravitacionais. No entanto, o mundo está repleto de fenômenos complexos e variados, que não correspondem às circunstâncias simples e idealizadas das leis *cetris paribus*. Esses fenômenos complexos podem ser vistos como o resultado da interação e interferência recíproca de diversos processos mais simples descritos pelas leis fundamentais.

Os efeitos sutis e complicados do mundo real, portanto, frequentemente são explicados por meio de sua decomposição nos elementos mais simples que os constituem -- explicação por composição de causas, na terminologia de Stuart Mill. Tais elementos mais simples são processos causais regidos por leis *ceteris paribus*, que descrevem corretamente o que acontece em determinadas situações específicas. Este tipo de explicação funda-se na suposição de que, quando numa combinação, as leis

¹⁰ Cartwright refere-se àquelas generalizações que não precisam se estender para todo seu domínio: a existência de excessões não invalida tais generalizações, cuja exigência é apenas a de serem válidas para a maior parte do domínio. O exemplo mais evidente, creio, é o das generalizações taxonômicas.

ceteris paribus "atuam" da mesma maneira que quando consideradas isoladamente: as leis *ceteris paribus* conservam a mesma forma, seja quando isoladas, seja quando combinadas. As situações complexas não fornecem as condições sob as quais as seis *ceteris paribus* valem; e, na falta destas condições, estas leis deixam de ser rigorosamente válidas. Não há dúvida de que em certos casos a composição de causas parece funcionar perfeitamente. Por exemplo, é possível somar vetorialmente forças gravitacionais com forças elétricas; neste caso, uma componente obedece à leis de gravitação universal, e outra à leis de Coulomb, obtendo-se uma "resultante", que descreve tão bem os casos de composição quanto faz cada uma destas leis ao "atuarem" isoladamente. A composição de causas por meio da soma vetorial funciona bem neste caso, mas não passa de uma boa metáfora, de acordo com Cartwright. A natureza não soma forças; as componentes não estão realmente presentes na natureza -- apenas a resultante está presente.

Neste caso, o argumento da composição de causas pode parecer convincente. Todavia, a composição de causas por meio da soma vetorial das componentes raramente funciona fora da dinâmica. Para resolver esta dificuldade, é possível pensar na caracterização de outras formas através das quais a composição de causas pode ocorrer. A idéia seria a de encontrar procedimentos gerais -- além da soma vetorial -- que estabelecessem como a contribuição de cada causa deve ser calculada na composição. No entanto, isto também não funciona. Há casos em que não é possível encontrar nenhuma fórmula que informe quanto cada causa contribui quando atua em conjunto com outras. O exemplo de Cartwright novamente está relacionado com a engenharia. A mecânica estatística deveria permitir o cálculo dos processos irreversíveis, o que de fato não é possível, devido à complexidade das equações. Em vez disso, processos de fluxo -- tais como difusão, transferência de calor, corrente elétrica -- são abordados, na prática, por meio de antigas leis fenomenológicas. Trata-se de equações diferenciais ordinárias que descrevem cada um desses processos isoladamente -- leis *ceteris*

paribus. O problema é que não há nenhuma lei de composição destas leis fenomenológicas que possibilite a descrição correta dos casos complexos, onde vários processos ocorrem simultaneamente. Tentativas de definir uma tal lei de composição fracassaram: a descrição dos fenômenos complexos de transporte por meio de abordagens teóricas sempre sofre ajustes e correções *ad hoc*.

Além do mais, observa Cartwright, mesmo que sempre fosse possível dizer como as várias causas compõem-se, não adiantaria muito. Pois não seria possível encontrar leis gerais de composição que pudessem ser aplicadas aos mais diversos casos. Em caso as causas compõem-se de maneira diferente. A generalidade procurada não pode ser obtida.

As explicações por leis de cobertura não são muito mais felizes que as explicações por composição de causas. Em parte, porque leis de cobertura são raras. Em parte, também, porque muitas leis de cobertura, embora possam efetivamente dar conta de certos casos, talvez não os explique muito -- como acontece ao se dizer que a girafa tem pescoço comprido porque todas têm. Finalmente, embora não seja raro que leis de cobertura consigam ser explanatórias, isto não é suficiente, na opinião de Cartwright, pois ainda é preciso compreender os casos particulares, ou seja, aqueles processos simples que interagem na composição de causas. Se uma lei de cobertura explica a partir de características mais gerais, isto não é suficiente, pois esses aspectos gerais não incluem os aspectos específicos da explicação que só podem ser apreendidos por meio dos processos causais particulares, que emergem quando as causas atuam isoladamente. E sem abordar os aspectos causais particulares, a explicação fica empobrecida, pois as explicações particulares constituem uma parte importante das explicações científicas.

Em resumo, par Cartwright, explicações causais são completamente distintas de explicações teóricas, ambas sendo importantes na ciência. E, por outro lado, verdade e explicação também são inteiramente desvinculadas.

6.33 - Verdade e aproximação

Um dos exemplos que Cartwright discute em detalhes é o da utilização de teoria no cálculo e análise de circuitos de amplificadores de sinais eletrônicos. Uma primeira tese ilustrada por este exemplo é a de que o problema com as teorias começa com a escolha do modelo a ser utilizado: costuma haver a possibilidade de se utilizar mais de um modelo em cada caso real de aplicação. Cartwright afirma que, como no caso dos amplificadores, não é possível dizer qual modelo é melhor; cada modelo possui suas vantagens e desvantagens. Um modelo é descrito de maneiras não apenas distintas, mas até mesmo incompatíveis com as de um outro. Por isso, um modelo pode ser bastante apropriado para ser aplicado a certo tipo de problemas, mas fornecer resultados insatisfatórios em outros casos, onde outro modelo pode ser bastante preferível. Um modelo pode ser mais adequado sob determinadas condições, ou para a consideração de certas propriedades, ou para calcular com precisão alguma variável importantes num certo caso; todavia, sob outras condições, ou quando deve-se ter precisão noutras variáveis, ou quando deseja-se apenas um cálculo não tão preciso quanto simples e rápido, outros modelos podem ser mais adequados. A escolha do modelo deve ser feita conforme os propósitos e de acordo com as circunstâncias. De acordo com Cartwright, em geral não há um modelo que seja sempre o mais indicado, em qualquer situação a ele relacionada.

Mas a dificuldade em escolher o modelo mais apropriado não é tudo. Segundo Cartwright, o pior acontece quando, mesmo depois de decidido qual o modelo a ser utilizado, é necessário adotar aproximações para efetuar a conexão entre teoria e realidade. Costuma-se pensar que as leis fenomenológicas são apenas aproximações das leis fundamentais, as quais estariam mais próximas da verdade. Embora admitindo que em certos casos seja isso que ocorre, Cartwright argumenta que em geral acontece o contrário: as leis fenomenológicas descrevem os fatos com maior

precisão que as fundamentais.

Neste ponto, a crítica de Cartwright está voltada contra o modelo nomológico-dedutivo da explicação, ou, melhor ainda, contra a perspectiva *genérico-específica* da explicação. Realistas e reducionistas, que encontram apoio no modelo nomológico-dedutivo da explicação, costumam pensar que, por serem mais gerais que as leis fenomenológicas, as leis fundamentais são mais verdadeiras: entre leis fundamentais e leis fenomenológicas devem haver relações causais -- presumem os realistas, mesmo quando não conseguem caracterizar razoavelmente tais causas -- e a verdade das leis fenomenológicas deve decorrer *dedutivamente* da verdade das leis fundamentais.

Todavia, não é preciso adotar a metafísica realista para chegar a resultado idêntico acerca da relação entre leis fundamentais e fenomenológicas. Cartwright cita uma formulação que, além de agradar aos realistas, é aceitável a qualquer empirista moderno, proposta por Adolf Grünbaum. Nesta formulação, Grünbaum argumenta que a explicação obtida por intermédio de uma implicação lógica não significa que o antecedente é a causa do conseqüente; significa apenas que a verdade do conseqüente corresponde a casos especiais da verdade mais compreensiva do antecedente. É esta formulação que Cartwright denomina de perspectiva *genérico-específica* da explicação. Como na perspectiva dedutivo-nomológica, as leis fundamentais explicam as fenomenológicas, e as fundamentais são superiores, pois estabelecem os fatos de um modo mais geral, podendo se referir a uma variedade de circunstâncias distintas. A dedutibilidade das leis fenomenológicas a partir das fundamentais é mantida.

No entanto, observa Cartwright, na prática científica atual as explicações raramente são de fato dedutivas. Para ela, as leis fenomenológicas só às vezes podem realmente ser deduzidas das fundamentais: em geral, para que se possa chegar às leis fenomenológicas a partir das fundamentais, é necessário que se passe antes por uma variedade de diferentes *aproximações*; o caminho das leis fundamentais para as fenomenológicas usualmente

não é estritamente dedutivo, mas mediado pelas aproximações. Para Cartwright, isso ocorre em toda a física, embora seja mais óbvio na física aplicada e, especialmente, *na engenharia*.

Portanto, mesmo deixando de lado o problema com os modelos -- o de que os fatos não costumam permitir que se saiba, dentre um conjunto de modelos rivais, qual deles é sempre melhor do que os outros --, ainda resta o problema da aproximação. Ou seja, mesmo depois de decidido qual modelo utilizar, o caminho que conduz das leis fundamentais para as fenomenológicas ainda tem de passar necessariamente, na maioria das vezes, pelas aproximações.

Os defensores da perspectiva genérico-específica, no entanto, não encontram objeção a seus argumentos no uso de aproximações. Para eles, as aproximações são utilizadas apenas porque a solução rigorosa das equações não é conhecida ou é excessivamente trabalhosa, e por isso é conveniente recorrer a aproximações. Devido às dificuldades com o cálculo, é razoável abandonar as soluções rigorosas, *que forneceria os melhores resultados*, em troca de soluções aproximadas, cujo cálculo é possível ou menos trabalhoso.

Mas é justamente isso que Cartwright questiona. Ela reconhece que em alguns casos a aproximação ocorre nos moldes descritos pela perspectiva genérico-específica, mas acentua que, na maior parte dos casos, a acurácia das aproximações práticas é maior e não menor que a das leis fundamentais. Além disso, raramente as leis fundamentais dizem a mesma coisa que as fenomenológicas, e esta é a razão pela qual estas últimas não podem ser rigorosamente deduzidas das leis fundamentais: a dedução não pode ser suficientemente justificada com base nos fatos conhecidos. Em outros termos, as aproximações que conduzem das leis fundamentais às fenomenológicas não são estritamente ditadas pelos fatos relacionados às circunstâncias em questão; os fatos *condicionam* a escolha das aproximações, mas *não as determinam*; e cada escolha, cada aproximação conduz a resultados distintos, incompatíveis entre si. Para Cartwright, o conteúdo

das leis fenomenológicas não está contido nas fundamentais. As leis fundamentais são mais abstratas e gerais, como afirma a perspectiva genérico-específica, mas não dizem o mesmo que as fenomenológicas, como pretendem os realistas, a partir da perspectiva genérico-específica. Por isso é que as aproximações frequentemente caminhar em direção à verdade, na medida em que se afastam da teoria. Não são as leis fundamentais que estão mais próximas da verdade e dela se afastam por intermédio das aproximações que levam às leis fenomenológicas, às aplicações, à prática. Ao contrário, ao se afastarem da teoria, as aproximações em geral chegam mais perto da verdade. *Aproximações e ajustamentos geralmente são necessários sempre que a teoria trata da realidade: não existem soluções rigorosas para os problemas da vida real.* Por isso é que as leis fenomenológicas geralmente estão mais próximas da verdade que as fundamentais.

Cartwright ilustra seu ponto de vista com vários exemplos. O do amplificador de sinais é um deles. Da perspectiva genérico-específica, um modelo é uma *idealização* quando ele é uma simplificação, no sentido de omitir aspectos relevantes presentes na realidade -- por exemplo, a fricção ou a plasticidade em certos problemas, ou a resistência do capacitor de desacoplamento, no caso do modelo do amplificador ao qual Cartwright se refere. O importante é que se saiba como corrigir a defasagem entre a idealização utilizada e o sistema real ao qual se pretende aplicar tal idealização -- ou então, basta que a defasagem seja suficientemente pequena. No caso do amplificador, a idealização coincide em parte com o ponto de vista genérico-específico: uma omissão é feita conscientemente, a fim de simplificar o cálculo. A fim de obter um resultado mais preciso, basta fazer uma *medição* direta de um dos parâmetros do circuito real, a fim de obter o valor real desse parâmetro, o que não coincide com o valor teórico estimado: assim a falha cuja razão de ocorrência pode ser diagnosticada é corrigida. Todavia, Cartwright mostra que há uma correção que só pode ser feita através da medição de um parâmetro do circuito real, pois as

razões pelas quais a estimativa teórica é imprecisa não são conhecidas, e por isso não podem ser diagnosticadas. Além do mais, mesmo a falha diagnosticável só pode ser corrigida através de medições: ela não pode ser quantificada de outra maneira. Portanto, este exemplo contraria a perspectiva genérico-específica, pois as correções "vêm da base para cima, por assim dizer, e não do topo para baixo" -- diz Cartwright. As correções não são obtidas a partir da teoria, por meio de uma especificação mais cuidadosa da situação real em questão -- mesmo porque isto não poderia ser feito, já que apenas parte da falha é compreendida e pode ser diagnosticada. Em vez disso, a correção é obtida por meio de medições, e pela inclusão do parâmetro medido, sob a forma de um fator fenomenológico, na fórmula teórica correspondente ao modelo escolhido. O resultado obtido por meio da equação corrigida torna-se satisfatório; porém, a correção não foi ditada pelas leis fundamentais.

É claro que se poderia tentar refinar o modelo e escrever as equações com maior precisão para as circunstâncias em questão, de modo a obter os resultados exatos desde o início, sem necessidade de efetuar correções. Porém, observa Cartwright, mesmo que fosse possível escrever as equações levando em conta todos os fatores significativos nas circunstâncias dadas, porque se deveria supor que tais equações teriam a forma simples que caracteriza as leis fundamentais das teorias básicas? Para Cartwright, a situação é desfavorável para quem defende a superioridade das leis fundamentais sobre as fenomenológicas. A tentativa de escrever equações "mais corretas" conduz a uma série de leis complicadas e de formas as mais variadas, não podendo serem reduzidas a um pequeno número de equações simples como as leis fundamentais das teorias básicas.

Para Cartwright, *generalidade e simplicidade* não são apenas a essência da explicação na ciência, pois são também fundamentais na *aplicação*: na engenharia há uma demanda por leis razoavelmente abrangentes, por modelos que possam ser aplicados em diversas situações. A tese que Cartwright se propõe a defender

é a de que, se uma lei for realmente capaz de cobrir algum caso específico, *sem necessidade de muita alteração ou correção*, então essa lei seria *tão específica* que *não funcionaria para nenhum outro caso*. Em socorro de sua tese, Cartwright utiliza o argumento de Bertrand Russell contra o princípio da '*mesma causa, mesmo efeito*'. Russell afirma que, se a ciência dependesse deste princípio, ela seria "*completamente estéril*", "*ociosa*", contrariando os que acreditam ser este princípio vital para a ciência. Segundo Russell, se os antecedentes são o bastante completos, a ponto permitir o cálculo suficientemente exato dos conseqüentes, então os antecedentes terão se tornado tão complicados que seria muito improvável que eles tornassem a ocorrer. A sugestão de Russell é a de promover um deslocamento das leis funcionais: daquelas que estabelecem relações entre indivíduos para aquelas que estabelecem relações entre propriedades. No entanto, observa Cartwright, esse deslocamento em direção a relações entre propriedades *não* é adequada para a engenharia, onde o que se pretende *tratar situações reais e complexas com precisão*. Embora os engenheiros se sintam familiarizados com funções, eles não parecem capazes de encontrar leis funcionais que, *ao mesmo tempo*, sejam capazes de permitir o cálculo suficientemente preciso de suas conseqüências e *não* sejam tão complicadas a ponto de ser muito improvável que se apliquem a outras situações. Se o que se deseja é encontrar leis simples que possam ser utilizadas repetidamente, em diversas situações, então parece melhor procurar por leis que não sejam tão precisas, por leis que demandem alterações ou correções. Parodiando Russell, Cartwright afirma que, se as aproximações correspondessem ao conceito que delas tem as perspectivas genérico-específica da explicação, a engenharia seria completamente estéril.

A posição de Cartwright é radical. Ela não se restringe a afirmar que as leis fundamentais não são necessariamente verdadeiras. Cartwright afirma que as leis fundamentais são, em geral, falsas. No entanto, talvez as leis fundamentais descrevam os fatos com maior frequência do que Cartwright está disposta a

admitir. No entanto, suas considerações são estimulantes, com respeito à tecnologia.

6.3.4 - Modelos e simulacros

Cartwright critica a vinculação direta da teoria à realidade, que ela afirma ser promovida pela visão tradicional das teorias, onde se considera que os princípios de ligação conectam teoria e realidade. Em conjunto, os princípios internos e os princípios de ligação deveriam garantir o caráter dedutivo da explicação científica. No entanto, segundo Cartwright, Hempel começou mais recentemente a duvidar de que as explicações sejam realmente dedutivas. Ele chegou à conclusão de que os princípios de ligação não são suficientemente gerais; falta-lhes o caráter de leis universais, pois eles valem ou somente na maioria dos casos, ou apenas quando as circunstâncias são suficientemente ideais.

Para Cartwright, o problema aparece por se supor que os princípios de ligação conectam diretamente a teoria à realidade, constituindo descrições verdadeiras do mundo. Cartwright sugere, em vez disso, que o acesso à teoria ocorre em dois estágios. Mas antes disso, é preciso fornecer uma descrição tão precisa quanto possível do problema, que contenha toda informação considerada relevante. Neste ponto, -- que ela denomina de *descrição não-preparada* -- não há distinção entre teoria e observação; não importa a forma através da qual a descrição é feita, ou se a linguagem os conceitos teóricos são utilizados. O que importa é que a descrição não-preparada não precisa atender qualquer necessidade matemática da teoria.

A partir da descrição não-preparada, é preciso fornecer, no primeiro estágio do acesso à teoria, uma *descrição preparada*. Os fenômenos devem ser apresentados de modo a poderem se adaptar à teoria; é preciso fornecer uma descrição para a qual a teoria permita escrever uma equação. A descrição preparada deve fornecer também as informações necessárias à solução das equações, indicando quais as condições de contorno que *podem* ser

utilizadas, quais aproximações *podem* ser feitas, etc.

Mas esse primeiro estágio é informal; as descrições podem ser melhores ou piores, mas só a prática e a intuição podem ajudar; princípios de ligação não podem informar como as descrições devem se feitas. Não é possível saber se a descrição preparada é fiel aos fatos que ela pretende representar; pode-se apenas saber se tal descrição é conveniente para o tratamento matemático da teoria.

Somente no segundo estágio é que os princípios da teoria atuam, tomando a descrição preparada e especificando exatamente as equações, as condições de contorno e as aproximações. Este estágio nada diz acerca da fidelidade da descrição preparada em relação à realidade. Mas, uma vez tomada a decisão de descrever a situação de uma determinada maneira, os princípios de ligação da teoria, no segundo estágio, tomam a descrição preparada e a introduzem completamente na teoria. Neste caso, então, os princípios de ligação são tão universais quanto qualquer outro. No primeiro estágio, porém, nenhum princípio teórico atua -- somente sim as regras práticas e a intuição bem informada.

Para Cartwright, o número de princípios fundamentais -- os internos e os de ligação -- das teorias básicas é bastante restrito. Os princípios fundamentais descrevem apenas situações bastante fictícias; eles não são capazes de descrever as situações do mundo real. Seria possível procurar sempre por princípios de ligação mais realísticos -- e portanto mais complicados -- e isso acontece também: as teorias estão sempre em expansão, adicionando princípios internos e de ligação. No entanto, em geral, quando é necessário representar as situações mais realisticamente, as leis fenomenológicas são mais convenientes. Costuma-se pensar que as leis fenomenológicas são dedutíveis das fundamentais, o que em geral não ocorre, ou ao menos não de modo rigoroso.

O argumento de Cartwright é de que o objetivo das teorias não é mesmo dispor de um enorme número de princípios que

permitam uma conexão direta com a realidade. Em vez disto, a teoria pretende cobrir uma grande variedade de fenômenos distintos utilizando apenas um pequeno número de princípios -- internos e de ligação --, utilizando-os de maneira original e adicionando correções quando necessário. Desta maneira é que a teoria alcança um grande potencial explanatório, embora o custo disto seja uma imagem distorcida do mundo real, uma imagem, porém, que se ajusta às estruturas bastante restritivas das teorias matemáticas. O importante é chegar a conclusões corretas sobre o comportamento dos fenômenos e suas causas, sem que essas conclusões precisem ser muito precisas; as próprias exigências matemáticas das teorias impedem uma grande acurácia.

O realista acredita que o pequeno número de princípios de ligação das teorias científicas resulta de uma característica da própria natureza; ele acredita que os casos mais complexos podem ser representados por uma combinação dos componentes básicos. Mas, para Cartwright, mesmo se essas combinações fossem realmente possíveis, elas seriam terrivelmente complicadas, complexas; tais combinações não preservariam a simplicidade e o tratamento unificado que as teorias básicas oferecem com seu pequeno número de princípios internos e de ligação -- os quais possibilitam a apreensão de uma grande diversidade de fenômenos, a representação deles em equações e uma solução ao menos aproximada dessas equações.

O exemplo ilustrativo que Cartwright discute é o dos diversos tratamentos teóricos dos lasers na mecânica quântica. Neste exemplo ela expõe os dois sentidos da palavra "realístico" em física. Num primeiro sentido, "realístico" opõe-se a "idealizado", e diz respeito à relação entre o modelo e o mundo: um modelo é realístico quando representa de modo exato a realidade, quando descreve fielmente o mundo real com precisão; caso contrário, o modelo é "idealizado". Num segundo sentido, porém, "realístico" diz respeito à relação entre o modelo e a matemática da teoria: um modelo é "realístico", neste sentido, quando as os princípios da teoria conseguem, a partir do modelo,

deduzir ou justificar as equações com as quais se pretende descrever a situação em questão, ou seja, quando essas equações não são escritas de maneira *ad hoc* ou fenomenológica. Equações fenomenológicas são escritas *a posteriori*, de modo a descreverem a situação conforme observado, sem que os princípios teóricos informem como tais equações podem ser obtidas a partir do modelo proposto -- que neste caso não é "realístico", no segundo sentido. Para um modelo ser "realístico" no segundo sentido, portanto, pouco importa se a descrição fornecida pelas equações representa de modo preciso o mundo real: importa apenas que as equações tenham sido obtidas a partir do modelo. As duas formas pelas quais um modelo pode não ser realístico estão relacionadas. E um modelo pode ser mais realístico num aspecto e menos realístico em outro. E ainda, como as teorias básicas distorcem a realidade, o não realismo de um aspecto muitas vezes pode servir para preservar o realismo de outro. Cartwright afirma também que, se um modelo é fiel aos fenômenos, ele raramente terá também a estrutura matemática adequada à teoria, e vice-versa.

Cartwright conclui que, para que um tratamento teórico possa ser mais realístico no segundo sentido -- da relação entre modelo e a teoria matemática --, é necessário dispor de um grande número de princípios de ligação. Todavia, em métodos tão sofisticados quanto os da mecânica estatística, grande parte do trabalho é reservada aos termos fenomenológicos, reduzindo assim o número de princípios de ligação necessários. E esses termos fenomenológicos, não raro, podem ser empregados em várias circunstâncias distintas. Através de seus exemplos, Cartwright procura mostrar que o sucesso da mecânica quântica não depende da utilização de novos princípios para cada situação, mas sim de alguns poucos princípios muito bem conhecidos e compreendidos, aplicados de novas maneiras.

Na abordagem nomológico-dedutiva, supõe-se que um fenômeno é explicado quando ele pode ser derivado de leis mais fundamentais. Isto requer um tratamento realístico no mínimo no primeiro sentido, de descrição precisa das situações reais -- mas

requer um realismo também no segundo sentido. Cartwright sustenta, ao contrário, que as leis fundamentais não são realísticas no primeiro sentido. No segundo sentido, de adequação entre modelo e teoria, o tratamento realístico é uma exigência do poder explanatório da teoria matemática; mas mesmo neste caso, o emprego de termos fenomenológicos (no segundo sentido) pode representar um atalho para a expansão do emprego da teoria: um tratamento teórico menos realístico (no segundo sentido) pode permitir encontrar soluções matemáticas conhecidas mais rapidamente e de maneira mais simples.

Cartwright argumenta em favor de uma nova abordagem da explicação. Explicar significa dispor de um modelo que ajusta-se a uma teoria matemática e assim permite a derivação de equações análogas às leis fenomenológicas -- as quais, estas sim, podem representar verdadeiramente os fenômenos que descrevem, em princípio. Mas leis fenomenológicas são caóticas e complicadas, ou seja, não possuem poder explanatório. Modelos, por sua vez, servem a diversos propósitos. Eles visam descrever os fenômenos por meio da matemática da teoria, mas cada caso pode ter uma ênfase diferente. Há modelos que pretendem permitir o cálculo exatamente de uma certa quantidade ou uma relação. Outros podem atribuir mais amplo para a teoria, ao preço de menor acurácia. Outros, ainda, podem estabelecer os processos causais relevantes num determinado fenômeno, de modo realístico, nos dois sentidos do termo, mas excluindo fatores considerados secundários desse tratamento "realístico". O modelo mais realístico não é o mais conveniente para todos os propósitos. A princípio, não há uma explicação "correta", como pressupõe o esquema nomológico-dedutivo ou das leis de cobertura.

Na abordagem da explicação como simulacro, um modelo é uma ficção, na qual algumas propriedades atribuídas aos objetos são reais, enquanto que outras são apenas *propriedades de conveniência*, introduzidas no modelo para que ele se ajuste à matemática da teoria. Algumas dessas propriedades de conveniência são *idealizações* -- como superfícies sem atrito, corpos

perfeitamente rígidos, potenciais infinitos, etc --, ou seja, propriedade que são concebidas como casos limites aos quais a realidade pode aproximar-se indefinidamente. Todavia, segundo Cartwright, algumas propriedades são puramente fictícias. A resposta, do ponto de vista das leis de cobertura, é de que trata-se de idealizações, que os princípios de ligação que conectam tais propriedades à realidade constituem uma aproximação razoável. Mas esta resposta não funciona. Como Hempel observou, esses princípios de ligação valem apenas em circunstâncias especiais, ideais; trata-se de leis *ceteris paribus*. É claro, talvez os casos complexos e reais pudessem ser cobertos por um número enorme dessas leis *ceteris paribus*. No entanto, essas leis não são conhecidas, e não há motivos para acreditar que elas existam, além da própria crença nesta existência. E mesmo que existisse este grande número de princípios de ligação, capazes de conectar qualquer caso real e complexo à teoria, o resultado não seria uma teoria simples, elegante e sintética, capaz de unificar uma vastíssima gama de fenômenos distintos, como prevê a perspectiva das leis de cobertura defendida pelo realista.

As propriedades de conveniência são genuínas apenas para os objetos dos modelos, não para os objetos reais. Às vezes, é claro, tais modelos apreendem os principais aspectos relevantes em situações bastante especiais, quase ideais. Nestes casos, inclinamo-nos a pensar que a realidade é modelada exatamente, de modo que mesmo as propriedades de conveniência do modelo parecem atribuíveis aos objetos da realidade. Por extensão, parece que as propriedades de conveniência podem sempre ser aplicadas também aos casos complexos, reais. Mas o argumento é falho. É possível inverter este argumento e afirmar que, como as propriedades de conveniência não se ajustam precisamente aos casos complexos e realísticos, então, por extensão, eles não podem ser legitimamente aplicados aos casos especiais, tampouco.

Cartwright compara sua abordagem com o que se tem dito a respeito de modelos na ciência. Mary Hesse, por exemplo, examina o modelo das bolas de bilhar para a teoria cinética dos

gases. Hesse observa que algumas propriedades do modelo -- isto é, das bolas de bilhar -- são compartilhadas pelos objetos modelados -- as moléculas de gás --, enquanto que outras propriedades do modelo não estão presentes no objeto modelado. Em geral, um modelo pode ter ainda propriedades que não se sabe se são ou não compartilhadas com os objetos modelados. Discordando de Hesse, Wilfrid Sellars argumenta que o importante não é se modelo e os objetos modelados compartilham propriedades comuns, mas se, um nível acima, eles compartilham mesmas relações entre propriedades; não são as propriedades que importam, mas as relações entre elas. Cartwright concorda com Sellars, visto que ela está interessada em saber como os modelos ajustam os fenômenos às equações da teoria. Mas Sellars defende fortemente um tipo de realismo que se opõe completamente à posição de Cartwright. Sellars argumenta que é muito difícil para as leis fenomenológicas serem verdadeiras, pois, para serem descritivas, elas precisam ser cada vez mais complicadas, e, por isso, menos gerais, sempre admitindo exceções. As leis fundamentais, que para Sellars representam as verdades básicas da natureza, são simples, gerais e sem exceção.

Para Cartwright, porém, a generalidade e ausência de exceções das leis fundamentais não passam de aparência, a qual resulta de uma ênfase exagerada no segundo estágio do acesso às teorias, no qual a descrição já preparada é conectada à teoria. As equações fundamentais podem ser verdadeiras a respeito dos objetos no modelo -- ou seja, segundo sentido de "realístico" --, mas isto porque os modelos são construídos justamente com esta intenção. O modelo de um fenômeno é uma descrição preparada para que possa ajustar-se às equações da teoria. O problema está no primeiro estágio, no qual, da descrição não-preparada, que descreve o fenômeno, passa-se para a descrição preparada. Os modelos raramente são realísticos no sentido de descrever corretamente as situações reais.

Outros autores citados por Cartwright, que ocupam-se com modelos na ciência, são Michael Redhead e James Cushing.

Ambos, porém, estão basicamente preocupados com um sentido restrito da palavra "modelo": o de uma teoria claramente incompleta ou não acurada.¹¹ No entanto, Cushing afirma explicitamente que os modelos servem para ajustar o fenômeno à teoria matemática. De qualquer modo, o sentido de "modelo" com o qual Cartwright se ocupa -- ou seja, descrições preparadas, em geral fictícias -- possui em comum com Hesse, Redhead e Cushing a idéia de não correspondência com a realidade.¹²

A posição de Cartwright tem muito a ver com a abordagem semântica da teorias, desenvolvida por Patrick Suppes, Joseph Sneed ou Bas van Fraassen, embora ela prefira não empregar, neste estágio de seu trabalho, o formalismo da teoria dos modelos, que neste ponto até dificultaria a apreensão de suas idéias básicas. De qualquer modo, para Cartwright, os modelos são essenciais para as teorias. São eles que ligam a teoria à realidade e aos fenômenos.

Contrastando sua posição com a de van Fraassen, Cartwright observa que, surpreendentemente, van Fraassen tem em comum com um realista como Sellars um enorme respeito pela

¹¹ Redhead [54] concentra sua atenção na solubilidade das equações: modelos são introduzidos para que se disponha de equações solúveis. Para Redhead, existem modelos que introduzem simplificações, de modo a permitirem a solubilidade; ele diz que estes são modelos que empobrecem as teorias. Um modelo também pode enriquecer uma teoria, quando acrescenta aspectos que não estavam nela claramente definidos.

¹² Outra abordagem um tanto distinta, embora correlata, pode ser encontrada em da Costa e French [16], onde são introduzidas estruturas parciais -- estruturas matemáticas nas quais as relações estão definidas apenas em parte do domínio.

Talvez esta seja uma boa maneira de se considerar as leis fenomenológicas: como leis que são satisfeitas por estruturas parciais.

teoria. Embora mantendo uma profunda desconfiança a respeito dos termos teóricos, van Fraassen acredita que a subestrutura observável dos modelos representa de forma precisa os fatos observáveis. Para van Fraassen, os enunciados teóricos não precisam ser verdadeiros, mas os enunciados acerca dos fenômenos observáveis sim. Cartwright, ao contrário, não vê necessidade de, numa boa teoria, sua subestrutura observável ajustar-se precisamente à realidade. Evidentemente que as consequências observacionais de uma teoria devem ser razoavelmente precisas; mas, se a ênfase for a precisão, a descrição exata da realidade, é melhor olhar para as leis fenomenológicas em vez das leis básicas.

Se a ênfase for a adequação descritiva ou empírica, e não a organização que pode ser atribuída ao fenômeno, então é preferível olhar para as leis fenomenológicas, que não podem ser rigorosamente deduzidas da teoria. Além disso, diferentemente de van Fraassen, Cartwright acredita em entidades teóricas e em processos causais.

Na abordagem simulacro, uma explicação é obtida quando é possível construir um modelo que ajusta o fenômeno à teoria. Mas as leis fundamentais da teoria são verdadeiras apenas para os objetos do modelo, e, em geral, não para os objetos da realidade. As descrições preparadas do modelo se ajustam perfeitamente às leis fundamentais, mas o mesmo não ocorre com as descrições não-preparadas, que são fiéis à realidade. As leis fundamentais explicam como se comportam os objetos do modelo, mas fornecem apenas um simulacro dos objetos da realidade.

Eventualmente, as leis fundamentais podem ser aplicadas com grande precisão à realidade; mas isto é muito raro, ou é resultado da realização de um experimento cuidadosamente controlado. Nas aplicações práticas, porém, como nos lasers, nos transistores e numa infinidade de outros instrumentos reais, a aplicação da teoria não pode ser literal, a teoria não é suficiente, e um enorme trabalho -- correções, ajustes, testes, extensões -- tem de ser realizado para que estes instrumentos

possam fundionar de maneira adequada e confiável.

Tanto as teorias quanto os objetos aos quais elas se aplicam são construções, que se aplicam razoavelmente -- ou, às vezes, até com grande precisão -- à realidade. Mas as leis fundamentais não governam a realidade: elas apenas aparentam isso. O que as leis fundamentais governam são os objetos dos modelos, que são apenas um simulacro da realidade, e que são bem mais ordenados e organizados do que ela.

6.3.5 - Simulacro e tecnologia

Creio que as razões pelas quais a abordagem de Cartwright é relevante no contexto das relações epistemológicas entre ciência e tecnologia ficam bastante claras, neste ponto. Se o objetivo da ciência consiste basicamente na busca de leis fundamentais, então a colaboração da tecnologia no processo de ampliação do conhecimento científico é restrita. Pois, a meu ver, a tecnologia participa dessa busca pelas leis fundamentais, mas em muitíssimo menor grau que a ciência. Se o objetivo principal da ciência fosse este, a tecnologia permaneceria sobretudo como aplicadora de conhecimentos científicos, e teria uma importância considerável apenas no que poderia ser chamado de "ciência aplicada", isto é, na derivação de aplicações a partir das leis fundamentais.

No entanto, não me parece que as coisas ocorram apenas desta maneira. Se a relação entre ciência e tecnologia se concentrasse apenas na aplicação da ciência, então esta relação seria relativamente simples, mais simples do que me parece ser de fato. (Foi isto que procurei mostrar nos capítulos II e III.) A aplicação da ciência na prática da tecnologia é mais difícil e menos direta do que prevê o esquema da ciência aplicada, e a relação epistemológica entre ciência e tecnologia mais complexa e variada do que freqüentemente se supõe.

Por outro lado, a abordagem simulacro proposta por Cartwright oferece uma boa possibilidade de ampliar a compreensão

das interações epistemológicas entre ciência e tecnologia, as quais entendo serem bastante intensas.

Creio que as maiores implicações da posição de Cartwright resultam do fato dela ter colocado as leis fenomenológicas numa posição de destaque, em vez de subordiná-las às leis fundamentais. Para Cartwright, as leis fenomenológicas são verdadeiras, enquanto as fundamentais explicam. Tradicionalmente, realistas e anti-realistas possuem este ponto em comum: ambos superestimam a teoria, entendendo as leis fenomenológicas como um esboço empobrecido das leis fundamentais. Não há nenhuma dúvida acerca da importância da teoria. Não pretendo negar isto, pelo contrário. Quero apenas impedir que o brilho da teoria ofusque outras formas de apreensão da realidade em contato mais direto com os objetos do mundo real, como é o caso das práticas tecnológicas.

Na tecnologia, frequentemente não há alternativa para as leis fenomenológicas: é muito comum que elas sejam não apenas a melhor opção, mas a única realmente disponível. Tradicionalmente, esta ênfase da tecnologia nas leis fenomenológicas é vista como uma limitação, um fator de depreciação. Mas Cartwright procura mostrar que as leis fenomenológicas constituem também um elemento importante e indispensável da própria atividade científica. Mais que isso, Cartwright indica que o recurso às leis fenomenológicas é imprescindível na prática tecnológica -- e científica --, na medida que as leis fundamentais não são verdadeiras, nem podem deduzir (rigorosamente) as fenomenológicas.

Um dos exemplos prediletos de Cartwright é o da construção de lasers. Ela observa que indústrias investem enormes quantias todos os anos para testarem à exaustão um grande número de leis fenomenológicas extremamente precisas. Nestes testes, as leis fundamentais, que são em número bem menor, são testadas apenas indiretamente, já que elas não deduzem rigorosamente as leis fenomenológicas.

Talvez Cartwright exagere. Pode ser que a situação

que ela descreve o que ela diz ocorra apenas no estágio atual da ciência. Talvez, no futuro, todas as leis que governam a realidade venham a ser conhecidas. Todavia, como diz Cartwright, não há nenhuma razão para ter alguma certeza de que isto poderá acontecer, exceto a crença de que o mundo é regido por leis fundamentais. Mas, no estágio atual, ao menos, a abordagem de Cartwright parece mais adequada.

* *

Na verdade, Cartwright postula uma determinada posição metafísica: uma crença aristoteliana na riqueza e variedade do concreto e do particular, que não pode ser completamente reduzido ao abstrato e geral. Só o exame pouco cuidadoso torna as coisas parecidas.

Pierre Duhem classificou duas espécies de mentalidade: a francesa, profunda mas estreita, e a inglesa, abrangente porém superficial. A mentalidade do tipo francês vê as coisas de modo elegante e unificado, como quando toma as três leis de Newton e as transforma na bela e abstrata matemática da mecânica lagrangeana. A mente inglesa, ao contrário, acumula uma imensidão de detalhes juntos, sem impor muita organização ou ordem abstrata. A mentalidade inglesa trabalha como um engenheiro, com suas engrenagens, polias, cordas, etc.

Cartwright utiliza esta classificação de Duhem como metáfora para sua posição: Deus não criou o mundo como o faria um matemático francês; Ele o criou com a estrutura desorganizada da mentalidade inglesa.

6.4 - Dois casos da tecnologia

Nos capítulos anteriores, abordei vários textos que procuram de alguma maneira apreender um pouco da relação epistemológica entre ciência e tecnologia. Procurei tornar claro que aquelas tentativas são muito precárias, superficiais: falta-lhes um quadro conceitual mais profundo e menos ambíguo,

que possa servir de base para uma análise mais adequada das interações entre ciência e tecnologia. Se a tecnologia é entendida como consumidora de conhecimentos gerados na ciência básica, tal quadro conceitual pode ser dispensado. Pois neste caso, em termos cognitivos, a tecnologia não contribuiria de maneira relevante para a ciência. No entanto, um exame mais detalhado do assunto ou um contato mais próximo com a tecnologia parece desautorizar esta opinião depreciativa da tecnologia.

6.4.1 - Teoria do motor de indução

Num fino e detalhado caso historiográfico, Kline [32] discute, as especificidades da teoria na engenharia, no caso, sobre o motor de indução. O exame minucioso deste exemplo requer um estudo à parte. Discutirei aqui apenas os resultados principais a que Kline chegou, procurando situá-los em relação à perspectiva proposta por Cartwright, por intermédio da qual as conclusões parecem bem mais compreensíveis.

O foco da atenção de Kline voltado-se sobretudo para a polêmica entre Michael Pupin, engenheiro e professor de eletromecânica, e aqueles que procuravam desenvolver uma teoria do motor de indução que divergia um tanto da teoria eletromagnética de Maxwell. Pupin estava convencido de que aquele distanciamento da abordagem de Maxwell, com a intenção de ajustar a teoria às necessidades práticas do projeto de engenharia, estava fadada ao fracasso. Ele dizia ser necessário esperar alguém "mais profundo que Maxwell" para modificar sua teoria; até lá, Maxwell devia ser seguido. Mas, como diz Kline, o que Steinmetz, Kapp e outros pretendiam era algo diferente de Maxwell: obter uma teoria da engenharia sobre instrumentos eletromecânicos, adaptando a teoria de Maxwell para servir a suas necessidades. Eles entendiam os princípios científicos que regiam o comportamento desses instrumentos, mas esses princípios não eram suficientes, e precisavam ser suplementados por uma combinação de *pesquisas experimentais* e de *teorias matemáticas* do

motor.

Inicialmente, o desenvolvimento do motor de indução, embora dependendo de algumas aplicações da ciência, apoiava-se sobretudo nas *pesquisas empíricas*, nos *procedimentos de ensaio-e-erro*. A eletrofísica de Faraday, Maxwell, Rowland foi se constituindo num instrumento fundamental para o projeto de motores de indução, mas sua aplicação nem sempre era direta e produtiva. Às vezes, o progresso dependia de um certo afastamento da eletrofísica.

Maxwell elaborou uma teoria do dínamo eletromecânico, derivou equações para circuitos elétricos e fórmulas para bobinas de indução. Com isso el Maxwell trouxe a teoria mais perto da prática. Mas a abordagem maxwelliana do motor de indução possui limitações. Parte destas limitações pode ser mais ou menos contornada, mas outra parte não. Segundo Kline, uma teoria maxwelliana do motor de indução seria sempre imprecisa. A razão para isto é ser a abordagem maxwelliana idealizada: ela assume um núcleo perfeito de ar, enquanto motores reais possuem espalhamento magnético e núcleo de ferro, e estes núcleos estão associados a permeabilidade variável e a perdas devido a correntes parasita e histerese. Os dois últimos fatores podem ser mais ou menos considerados, mas a permeabilidade variável não, pois a abordagem maxwelliana depende da permeabilidade constante. Por estas razões, qualquer teoria maxwelliana do motor de indução permaneceria sempre imprecisa.

Para superar estas dificuldades, tentou-se desenvolver teorias híbridas do motor de indução, combinando a teoria dos circuitos magnéticos, elaborada pelo cientista Henry Rowland, com a abordagem de Maxwell. Resultados experimentais ou empíricos, também eram incorporados. Dois dos mais bem sucedidos nestes esforços foram Charles P. Steinmetz e Gisbert Kapp. Steinmetz já havia desenvolvido um método para cálculo de circuitos de corrente alternada, o qual substituíra tanto os menos precisos

métodos gráficos¹³, quanto as complexas equações diferenciais teóricas; o método de Steinmetz era também mais simples, utilizando a álgebra dos números complexos. Steinmetz usaria depois este método no desenvolvimento de uma teoria dos motores de indução mais simples e, o que é mais importante, mais precisa.

Kapp e Steinmetz eliminaram os coeficientes de indução de Maxwell, responsáveis pelas limitações da abordagem maxwelliana. Eles modificaram a teoria dos circuitos magnéticos tradicional, introduzindo dois novos termos, os quais eram definidos de modo similar aos coeficientes de indução de Maxwell. A crítica de Pupin concentrava-se contra estes dois termos, que ele qualificava como empíricos e não fundamentais. Ou seja, estes termos não podiam ser justificados pela teoria fundamental de Maxwell -- ao contrário dos coeficientes de indução maxwellianos. Na terminologia de Cartwright, os termos introduzidos por Steinmetz e Kapp eram fenomenológicos. Steinmetz, no entanto, tinha uma opinião diferente; segundo Kline, não se tratava de termos empíricos, introduzidos apenas para fazer a teoria aproximar-se mais da prática; os novos termos haviam sido definidos de maneira análoga à dos coeficientes de indução de Maxwell -- e não exclusivamente para aproximar a teoria da prática. Estes coeficientes, portanto, eram ao menos em grande parte apriorísticos, os quais, no entanto, já não eram exclusivamente os princípios da teoria de Maxwell. Aparentemente, no entanto, os coeficientes de indução de Maxwell são fundamentais -- isto é, justificados por sua teoria eletromagnética -- e os termos introduzidos por Steinmetz não. (Mas este ponto precisa ser melhor analisado; Kline não deixa muito clara esta questão.) Steinmetz adicionou ainda outro aperfeiçoamento a sua teoria do motor de indução: o circuito equivalente, que reduz as complexas interações eletromagnéticas no motor de indução a um circuito simples de corrente alternada.

¹³ Note-se como é comum na engenharia, a utilização de gráficos em "substituição" a equações.

Kline diz que o circuito equivalente é "um diagrama esquemático" das equações de Steinmetz para o motor de indução. Eu diria então que este circuito equivalente nada mais é do que um modelo que Steinmetz criou para atender a sua teoria.

O conceito do circuito equivalente foi estendido também para outros instrumentos. A principal alternativa ao método de Steinmetz para o projeto de motores de indução era o do diagrama do círculo, um método gráfico que competiu de modo favorável com o circuito equivalente de Steinmetz até os anos cinquenta.

Kline observa que o circuito equivalente e o diagrama do círculo ainda precisavam ser *complementados por fórmulas que proporcionavam uma maior aproximação entre teoria e prática*. Kline denomina estas fórmulas *equações de projeto*. Elas relacionam os parâmetros das teorias do motor de indução às dimensões e às características eletromagnéticas dos componentes do motor, proporcionando a ligação entre a teoria da engenharia e o trabalho prático. Trata-se, para Kline, de equações obtidas empiricamente. Ou, nos termos de Cartwright, de genuínas leis fenomenológicas, que descrevem realisticamente -- no primeiro sentido de 'realístico', portanto.

Kline diferencia claramente as equações de projeto, que são empíricas, das teorias gerais do motor de indução, como a teoria de Steinmetz. Estas últimas, são mais sistemáticas e gerais que os métodos de tentativa-e-erro, e mais precisas que as fórmulas derivadas da abordagem maxwelliana.

Aparentemente, portanto, Steinmetz chegou a alterar, em certa medida, os os próprios princípios da teoria de Maxwuell, possibilitando a abordagem de um domínio mais amplo, incluindo certos instrumentos da engenharia. Mas mesmo isto não era suficiente, e Steinmetz tinha ainda de recorrer a leis fenomenológicas, capaz de descrever mais detalhadamente estes instrumentos e seu comportamento.¹⁴

¹⁴ Por fim, três últimas observações sobre Kline. No final de seu artigo, Kline manifesta-se favoravelmente ao conceito de

6.4.2 - Análise de volume-controle

Vincenti [64] toma a análise volume controle para ilustrar a existência de diferenças cognitivas entre a engenharia e a física. A análise de volume controle é um método de cálculo da engenharia muito utilizado em problemas termodinâmicos, e também na mecânica dos fluidos. O volume controle significa de um volume arbitrário definido por uma superfície imaginária, através da qual há um fluxo de fluido, podendo eventualmene haver também fluxo de calor. Esta superfície pode ainda estar sujeita a forças significativas, ou energia mecânica pode estar sendo transmitida através dela. Vincenti nota que a análise de volume controle fornece um quadro no qual as leis físicas que governam a massa, a energia, o momento e (eventualmente) a entropia, podem ser aplicadas. Desta aplicação resultam equações gerais integrais que fornecem informações acerca de alterações no interior do volume sobre transporte de diversas quantidades através de sua

ciência da engenharia proposto por Layton (ver 5.3). Kline acredita que as teorias do motor são teorias essencialmente da engenharia. Discordo disso. Não vejo distinção essencial entre teorias na ciência e na tecnologia. A teoria do motor de indução de Steinmetz é uma teoria científica.

Mas concordo com outra crítica que ele faz a Layton, quando este considera que na tecnologia os pesquisadores teóricos não são vistos com muito apreço. O prestígio que Steinmetz alcançou entre os tecnologistas com seu trabalho teórico é um exemplo de que a teoria é muito valorizada na tecnologia.

Kline também tem razão quando rejeita a tese de Layton, de que as teorias da (ciência da) engenharia lidam com "quantidades macroscópicas" (ou observacionais) do mundo real, enquanto as teorias da ciência lidam com o mundo ideal e "microscópico" (ou teórico), observando que esta tese não vale para os motores de indução e outros instrumentos de potência elétrica.

superfície e das forças agindo sobre o material contido no volume. O engenheiro deve escolher o volume controle de modo a facilitar a aplicação das fórmulas teóricas, mantendo em vista as quantidades conhecidas e aquelas que se deseja conhecer. A superfície do volume controle deve ser colocada ou onde já se conhece algo ou onde se deseja conhecer alguma coisa. A escolha da superfície controle pode coincidir com a geometria do instrumento analisado ou ser completamente independente dela. Portanto, a análise de volume controle, segundo Vincenti, é composta de dois elementos: o volume ou superfície controle e as fórmulas e teoremas da análise de volume controle.

Isto parece adaptar-se muito bem à abordagem de Cartwright. De um lado, há fórmulas que regem o comportamento físico na superfície e no volume controle; por outro lado, a escolha da superfície de controle deve ser feita de modo a se ajustar às equações e fornecer os resultados desejados. Ou seja, o volume controle deve fornecer um modelo para as fórmulas. A escolha da superfície controle deve ser feita cuidadosamente: ela deve propiciar uma descrição da situação que possa ser conectada às fórmulas teóricas de modo adequado e eficiente. Uma escolha inadequada da superfície controle comprometerá a obtenção dos resultados procurados. Isto mostra que a aplicação de equações conhecidas em problemas reais não é tarefa trivial, mesmo quando as equações são bem conhecidas e compreendidas: ainda é necessário encontrar uma descrição adequada da situação, isto é, um modelo, e esta escolha não é determinada pelas equações. As equações orientam, sugerem, condicionam a escolha do modelo, mas não a determinam. O engenheiro precisa ter sensibilidade e intuição para saber qual o melhor lugar para situar o volume controle. É a capacidade de determinar esta escolha que constitui um dos dois elementos da análise de volume controle, de acordo com Vincenti.

O segundo elemento são as fórmulas e teoremas de volume controle. A utilização de volume controle ocorria desde o século dezoito, pelos fundadores e praticantes da hidráulica e

hidrodinâmica. Mas seu emprego era implícito, sem consciência de que aquelas soluções encontradas para problemas específicos e isolados podiam ser organizadas num procedimento sistemático e geral. Só na segunda e terceira décadas deste século -- especialmente pelas mãos do engenheiro e pesquisador Ludwig Prandtl -- a análise de volume controle se constituiu como um método geral, reunindo uma ampla gama de problemas sob a mesma abordagem. Vincenti observa que a análise de volume controle não nada tem a ver com uma nova ciência básica. As fórmulas ou teoremas de volume controle utilizam leis já conhecidas da física básica, e os procedimentos matemáticos utilizados para obter aquelas equações também. No entanto, obter essas fórmulas gerais e tão bem aparelhadas para tratar de problemas importantes da engenharia não foi tarefa trivial. Mas, na verdade, penso que Vincenti não consegue dizer *explicitamente* por quê. Com certeza, mostrando como a análise de volume controle foi formulada, Vincenti seria capaz de *mostrar* que não não foi uma tarefa trivial, mas enunciar as razões dessa não trivialidade é outra coisa. Aí está algo que a filosofia da ciência deveria ser capaz de responder.

Vincenti enfatiza que os engenheiros apreciam a capacidade de organizar as idéias da análise de volume controle não apenas por sua simplicidade, como também por permitir uma compreensão mais clara dos princípios físicos atuando nas circunstâncias mais distintas. Estas qualidades do volume controle permitem a aplicação das leis básicas da física mesmo a situações em que isto seria, de outro modo, complicado, difícil e confuso. Os aspectos relevantes de cada problema podem ser apreendidos com maior clareza. E, o que é importante, o volume controle facilita a tarefa de, nos termos do próprio Vincenti, *transpor os problemas práticos para a matemática*. Note-se, então, como as idéias de Cartwright sobre modelos parecem apropriadas para uma melhor compreensão deste caso. O segundo elemento da análise de volume controle, isto é, suas fórmulas e teoremas, constituem os princípios de ligação que conectam os modelos às

teorias mais fundamentais da física. Estes princípios também informam os requisitos que as *descrições preparadas* devem atender para que possam satisfazer à matemática da teoria. Ou seja, os princípios informam as características que o modelo deve ter para que possa ser introduzido na teoria.

Mas também o poder explanatório da análise de volume está ajustado às características da explicação científica. Vincenti enfatiza bastante a capacidade da análise de volume controle em organizar sob uma única abordagem uma vasta classe de problemas que pareceriam de outra forma disparatados. Para Vincenti, esta generalidade possui as seguintes vantagens: permite aos engenheiros pensar com maior clareza; torna os problemas mais simples; proporciona, devido à padronização, maior segurança contra o erro; possibilita economia tempo; e facilita o ensino da engenharia. Vincenti acredita que estas características do volume controle o diferenciam dos métodos da física. Todavia, não me parece assim; penso que estas características são desejáveis em qualquer teoria que pretenda dispor de um bom potencial explanatório, na física e engenharia. As qualidades da explicação científica não parecem divergir destas que Vincenti atribui à análise de volume controle.

Há outros aspectos do volume controle que Vincenti julga ilustrar como o conhecimento na engenharia difere em "estilo e substância" do conhecimento na física. O volume controle aplica-se somente se o problema envolve fluxo de fluido. Além disso, a análise de volume controle não requer nem fornece informações detalhadas acerca do que ocorre no interior do volume -- informações no contorno do volume bastam --; neste sentido, a análise fornece sobretudo resultados globais, e pode ser aplicado mesmo quando o conhecimento dos processos físicos ocorrendo no interior não são bem conhecidos, ou quando a solução das equações não pode ser obtida ou é muito trabalhosa. (Às vezes, resultados mais precisos são desnecessários em vista do fim almejado, e só implicariam emprego de tempo e esforço sem retorno prático proporcional). Estas seriam, segundo Vincenti, outras razões

pelas quais a análise de volume controle, como um método formal e organizado, foi desenvolvido na engenharia, e não na física -- onde o volume controle tende a ser empregado de modo implícito, quando algum problema específico propicia este tipo de abordagem. Na física, de acordo com Vincenti, interesse em conhecer as propriedades físicas e químicas da matéria afasta, em geral, o estudo de problemas envolvendo fluxo, essencial no volume controle. Além do mais, a física tem interesse em conhecer o sistema estudado em detalhes -- por exemplo, sobre o que ocorre no interior de um volume controle, detalhadamente, ponto por ponto, algo que o método desenvolvido pelos engenheiros não poderia responder. No entanto, não me parece que haja aqui uma diferenciação essencial entre a física e a engenharia. É claro que os interesses práticos da engenharia conduziram ao desenvolvimento de uma abordagem teórica que fosse capaz de atender àquelas demandas, incluindo-se aí a concentração sobre uma certa classe de problemas -- no caso, os que envolvem fluxo. Como observa Cartwright, problemas distintos e interesses diversos conduzem a abordagens teóricas diferenciadas.

CONCLUSÃO

Ao abordar uma série de textos neste trabalho, minha intenção era examinar diversas contribuições para o tema da interação entre ciência e tecnologia. O maior desafio consistia em encontrar um polo aglutinador das abordagens e interesses os mais diversos e heterogêneos, que constitui uma característica dos textos que de algum modo tratam da relação entre ciência e tecnologia. O fio condutor que propus foi o de concentrar-me na relação epistemológica entre ciência e tecnologia.

Argumentei que a tecnologia é relevante não apenas no que diz respeito à aplicação do conhecimento científico, como também na produção deste tipo de conhecimento. Uma das idéias centrais em torno da qual gravita todo este trabalho é a de que a prática tecnológica constitui um local privilegiado para a observação da relação entre teoria científica e realidade.

O utilitarismo tecnológico atende aos mais diversos interesses e motivações. Por exemplo, o objetivo imediato de uma tecnologia pode ser o de propiciar alguma facilidade à vida humana, o de melhorar a qualidade de vida; ou, então, o objetivo imediato pode ser o de permitir à ciência ampliar sua compreensão do mundo, de favorecer o aperfeiçoamento das teorias científicas; e assim por diante. Portanto, -- e é isso o que desejo ressaltar -- quando a ciência moderna pretende estabelecer as relações precisas entre suas teorias e o mundo real, ela só muito raramente pode dispensar a tecnologia -- neste caso, a tecnologia dos instrumentos científicos, especialmente. Ou seja, mesmo quando a ciência deseja observar as relações existentes entre teoria e realidade no interior dos laboratórios científicos, tais observações só muito raramente podem dispensar a intermediação da tecnologia. Neste caso, é a prática tecnológica correspondente aos instrumentos científicos que funciona como um meio através do qual a ciência pode explorar as relações entre suas teorias e a

realidade.

No entanto, não é apenas por meio dos instrumentos e da manipulação deles que a tecnologia auxilia a ciência a desenvolver suas teorias. A construção, a operação, a manipulação de instrumentos -- nos laboratórios científicos ou não -- interage com a formulação de teorias científicas. A construção de instrumentos sofisticados e complexos, por exemplo, depende das teorias; mas as teorias não são suficientes para a construção de tais instrumentos: em geral, é preciso complementar, modificar, corrigir, ampliar, ajustar o tratamento teórico, num processo que pode ser rico para a formulação de teorias científicas.

Procurei sustentar ao longo deste trabalho que toda prática tecnológica original, mesmo quando o objetivo imediato não é o de propiciar o progresso da ciência, é fundamental para a que esta última venha a constatar quais são as relações entre teoria e realidade, e pode constituir um potencial capaz de desempenhar um papel ativo e fundamental neste processo. Consequentemente, considero que toda prática tecnológica original pode, em princípio, fornecer algum impulso direto para o progresso da ciência, visto que tais práticas expõem novos aspectos da realidade que podem ser correlacionados a teorias científicas -- já formuladas ou a formular.

Mas há mais sobre isso. Para mim, as contribuições da prática tecnológica para que a ciência considere mais adequadamente as relações entre teoria científica e realidade podem ocorrer em duas direções, de duas formas distintas e complementares. Por um lado, a relação entre teoria científica e realidade, mediada pela tecnologia -- ou pela prática tecnológica -- pode progredir primariamente na direção de tornar uma teoria já disponível melhor ou mais amplamente ligada à realidade. Assim, partindo de teorias já existentes, é possível procurar aplicá-las a casos reais para os quais ainda não se havia imaginado que tais teorias seriam aplicáveis, ou para os quais não se havia ainda tentado fazer tais aplicações; então, é possível que seja necessário estender, ampliar ou complementar

tais teorias, de modo que elas possam alcançar partes da realidade que antes não abrangiam; ou então, é possível que seja necessário introduzir correções ou alterações nestas teorias, de modo que elas se ajustem melhor ao mundo real. A estes casos, em que se tomam teorias existentes como ponto de partida e caminha-se em direção a uma melhor conexão dessas teorias com o mundo real, correspondem, por exemplo, as considerações de Cartwright (item 6.3); ou, também, ao menos parte dos esforços descritos por Kline para o desenvolvimento de uma teoria mais adequada do motor de indução (item 6.4.1). Raramente a aplicação de uma teoria na tecnologia é tão simples e direta quanto se costuma acreditar -- sem contudo que se faça uma análise mais detalhada para mostrar que assim ocorre. Acho que esta opinião de que as teorias científicas podem ser fácil e diretamente aplicadas na tecnologia está ligada à crença de que a própria relação entre teorias científicas e realidade é mais direta e imediata do que de fato se pode constatar. No item 6.3 observei como Cartwright, ao argumentar que as leis fundamentais estão mais distantes da realidade que tradicionalmente se supõe, reforça significativamente o ponto de vista de que a aplicação dessas teorias é bastante difícil e problemático. Para ela, este distanciamento entre leis fundamentais e a realidade resulta do uso de representações fictícias em conexão a estas leis. Cartwright é radical neste ponto. Ela acredita que as aproximações -- fenomenológicas, ou empíricas, experimentais -- conduzem à verdade, em vez de se afastarem dela. Segundo Cartwright, as leis fundamentais são menos verdadeiras que as fenomenológicas, que descrevem os fenômenos com maior precisão. Não adianta refinar e complicar os modelos: as aproximações *ad hoc* são as melhores opções -- sem dúvida, ao menos as mais simples e desejáveis.

Por outro lado, a segunda direção pela qual a teoria científica pode aprimorar sua relação com a realidade percorre primariamente o sentido inverso: da realidade em direção à teoria, por meio da prática e da tecnologia. Neste caso, é o

contato com o mundo real na prática e na tecnologia que desvende aspectos novos e desconhecidos da realidade, demandando e mesmo sugerindo novas formulações teóricas. É disto que fala Price ao invocar a precedência da experimentação sobre a teoria (item 6.1.1); é disto também que fala Hacking, ao tratar da considerável autonomia da experimentação em relação à teoria, razão pela qual a experimentação pode frequentemente se antecipar à teoria (item 6.1.2); é disto ainda que fala Rossi, embora de modo menos explícito (item 4.1); os processos da descoberta estudados por Simon também se inserem mais ou menos neste contexto (6.1.3); as considerações de Wigglesworth (item 6.1.4) são igualmente relevantes; e assim por diante.

É claro, porém, que a exploração da relação entre ciência e realidade não ocorre, em geral, apenas a partir da teoria em direção a um melhor ajustamento ao mundo real, nem apenas a partir do mundo real em direção à formulação teórica; em geral, estes dois movimentos encontram-se presentes ao mesmo tempo, ora a ênfase pendendo de um lado, ora do outro.

Mas à tese de que toda prática tecnológica original, em princípio, é capaz de contribuir ativamente para a formulação de teorias científicas -- mesmo que este não seja o objetivo imediato de tais práticas -- corresponde uma outra, dual da primeira, e que igualmente defendi ao longo deste trabalho: a de que toda teoria científica pode, em princípio, ser aplicada na tecnologia -- mesmo que tais aplicações não sejam previsíveis ou viáveis de imediato, ou que tais aplicações não tenham sido a motivação imediata do desenvolvimento teórico. Pois a teoria científica funciona como um promotor privilegiado da intervenção da tecnologia no mundo real. A realidade não pode ser manipulada pela tecnologia apenas através da prática, da habilidade e perícia em lidar diretamente com o mundo. a intermediação teórica é também fundamental.

Da mesma maneira que sua tese dual, pode-se talvez considerar que a intervenção na realidade pela prática tecnológica é intermediada pela teoria a partir de atuações em

duas direções distintas e complementares. Por um lado, é possível partir de uma prática tecnológica já existente e chegar, por intermédio da teoria científica, a uma prática aperfeiçoada, que se relacione de modo mais preciso com o mundo, a uma prática que possibilite um controle mais amplo, uma operação mais precisa. Tais aperfeiçoamentos de práticas tecnológicas seriam impossíveis sem a intermediação de teorias científicas. De outro lado, é possível chegar a práticas tecnológicas revolucionárias a partir de considerações teóricas a respeito da realidade, considerações estas totalmente inacessíveis à prática tecnológica tomada isoladamente. Certos aspectos da realidade são completamente inimagináveis e impossíveis de serem apreendidos sem o intermédio de teorias científicas.

Em ambos os casos, porém, a teoria científica revela à tecnologia aspectos da realidade que seriam inacessíveis de outra forma -- não importa se total ou apenas parcialmente. Em ambos os casos, a teoria científica permite à tecnologia abordar a realidade de maneiras que não poderiam ser inventadas de outra forma, e permite à tecnologia chegar a realizações inimagináveis sem a intermediação teórica.

Portanto, há duas teses: a da contribuição da ciência para a tecnologia e a inversa. O que estas teses duais implicam, tomadas em conjunto, é uma interação intensa e forte entre ciência e tecnologia, um grande influência recíproca potencial entre elas. Acredito que foi justamente esta influência recíproca, esta interação entre ciência e tecnologia modernas, que as fez surgir com o grande potencial de progresso que elas apresentam, algo que não teria sido possível se permanecessem mais separadas e distantes uma da outra. É claro que a influência entre ciência e tecnologia, em geral, não é localmente simétrica: em cada caso, a balança em geral tende mais para um lado do que para o outro, e outras vezes a balança inclina-se ao contrário. Mas, considerando globalmente, acredito que haja uma razoável simetria na influência de uma sobre a outra. As interações caminham da ciência para a tecnologia, e desta para aquela, de um

modo extremamente dinâmico: o progresso em uma direção abre perspectivas para avanços na direção contrária, e assim por diante, num processo em cadeia. (Foi dessas interações em cadeia que procurei falar nos capítulos II e III.)

* * *

Como eu disse, uma das idéias centrais nesta dissertação é a de que a prática tecnológica funciona como um elo fundamental da interação entre teoria científica e realidade. Creio que tal tese precisa ser formulada de um modo mais preciso, de maneira a constituir um fundamento sólido a desenvolvimentos mais detalhados, que possam ser ilustrados por meio de exemplos pormenorizados extraídos da história da ciência e da tecnologia. Mas meu objetivo nesta dissertação é mais modesto. O que pretendi mostrar foi apenas que tal tese é ao menos tão razoável e plausível quanto sua negação. Na verdade, pretendi mostrar que a tese de que a tecnologia contribui ativamente para o conhecimento científico é bastante provável. O que seria desejável responder mais detalhadamente, porém, é: de que maneiras especificamente a tecnologia pode contribuir e tem contribuído significativamente para a ciência, de modo ativo, na produção de conhecimentos científicos, e não apenas como provedora da tecnologia que a ciência utiliza na pesquisa ou como fonte de problemas que a ciência toma para investigar? Por meio de precisamente quais características e peculiaridades suas, ausentes ou escassas na ciência, a tecnologia pode ser capaz de produzir conhecimentos científicos e informações para a produção deste tipo de conhecimentos, de que forma, através de quais procedimentos?

Penso que estas indagações são bastante pertinentes. Neste trabalho, procurei identificar os elementos que me parecem mais capazes de responder a estas questões. Por um lado, sugeri que uma das chaves desses problemas reside no contato da tecnologia com o mundo real: por meio da prática efetiva e eficiente revelam-se aspectos da realidade antes desconhecidos -- parcial ou totalmente. Penso que na *habilidade* em lidar

diretamente com o mundo real, no experimentar e observar este mundo, no manusear e controlar a realidade, no operar com ela, reside o núcleo da possibilidade da tecnologia contribuir ativamente para o avanço do conhecimento científico.

Por outro lado, sugeri que este contato direto com a realidade -- a qual resiste à manipulação -- frequentemente proporciona à tecnologia a possibilidade de estreitar os laços existentes entre teoria científica e realidade, ou, muitas vezes, até mesmo de estabelecer esses laços, propondo formulações ou reformulações de caráter teórico.

- [1] Barnes, B. Note "The Science Technology Relationship: A Model and a Query". *Social Studies of Science* 12: 166-72, 1982.
- [2] Beaver, D. deB. The Secrets of Science Unlock'd: Scientific Instruments as Keys to Artificial Revelation. *Science, Technology and Human Values* 13 (3,4): 373-84, 1988.
- [3] Black, M. Are There Any Philosophically Interesting Questions in Technology? In: Suppe, F. and Asquith, P. D. *PSA 1976. 2.* East Lansing, Philosophy of Science Association, 1977, p. 185-93.
- [4] Böhme, G.; van den Daele, W. and Krohn, W. 'The 'Scientification' of Technology. In: Krohn, W.; Layton, E. and Weingart, P., comps. *The Dynamics of Science and Technology. Sociology of the Sciences. 2.* Dordrecht, Reidel, 1978, p. 219-50.
- [5] Bryant, L. The Role of Thermodynamics in the Evolution of Heat Engines. *Technology and Culture* 14: 152-65, 1976.
- [6] Bryant, L. The Development of the Diesel Engine. *Technology and Culture* 17: 432-46, 1976.
- [7] Bunge, M. Technology as Applied Science. *Technology and Culture* 7: 329-47, 1966.
- [8] Bunge, M. Action. In: Bunge, M. *Scientific Research. 2; The Search for Truth.* Spring-Verlag, 1967. (Studies in the Foundations, Methodology and Philosophy of Science. 3/II). p. 135-50.
- [9] Bunge, M. The Philosophical Richness of Technology. In: Suppe, F. and Asquith, P. D. *PSA 1976. 2.* East Lansing, Philosophy of Science Association, 1977, p. 153-72.
- [10] Bunge, M. Technology: From Engineering to Decision Theory. In: *Treatise on Basic Philosophy.* Dordrecht, Reidel, 198, p. 219-329.
- [11] Cardwell, D. S. L. Some Factors in the Early Development of the Concepts of Power, Work and Energy. *The British Journal for the History of Science* 3 (11): 209-24,

1967.

- [12] Cardwell, D. S. L. Science and Technology: the Work of James Prescott Joule. *Technology and Culture* 17: 667-87, 1976.
- [13] Cartwright, N. *How the Laws of Physics Lie*. New York, Oxford University, 1983.
- [14] Channell, D. F. The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W. J. M. Rankine. *Technology and Culture* 23 (1): 39-52, 1982.
- [15] Channell, D. F. Engineering Science as Theory and Practice. *Technology and Culture* 29 (1): 98-103, 1988.
- [16] da Costa, N. C. A. and French, S. The Model-Theoretic Approach in the Philosophy of Science.
- [17] Duffy, M. C. Technomorphology, Engineering Design and the Technological Method. 28th Annual Conference, University of Warwick. British Society for the Philosophy of Science, 1984, p. 1-32.
- [18] Ferrari, G. A. and Vegetti, M. Science, Technology and Medicine in the Classical Tradition. In: Corsi, P. and Weidling, P., comps. *Information Sources in the History of Science and Medicine*. Butterworths, 1983, p. 197-220.
- [19] Finch, J. K. Engineering and Science: A Historical Review and Appraisal. *Technology and Culture* 2: 318-32, 1961.
- [20] Fung, Y. C. *Foundations of Solid Mechanics*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1965.
- [21] Geiger, R. L. Milking the Sacred Cow: Research and the Quest for Useful Knowledge in the American University since 1920. *Science, Technology and Human Values* 15 (3,4): 332-48, 1988.
- [22] Gibbons, M. and Johnson, C. Relationship between Science and Technology. *Nature* 227: 125-7, 1970.
- [23] Giere, R. N. A Dilemma for Philosophers of Science and Technology. In: Suppe, F. and Asquith, P. D. *PSA* 1976.

2. East Lansing, Philosophy of Science Association, 1977, p. 194-201.
- [24] Hacker, B. C. Greek Catapults and Catapult Technology. *Science, Technology, and War in the Ancient World. Technology and Culture* 2: 34-54, 1961.
 - [25] Hacking, I. *Representing and Intervening*; Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science. Cambridge, Cambridge University, 1983.
 - [26] Hall, A. R. Engineering and the Scientific Revolution. *Technology and Culture* 2: 333-41, 1961.
 - [27] Harney, M. Review Article "The Philosophy of Technology". *Australasian Journal of Philosophy* 63 (4): 520-32, 1985.
 - [28] Hughes, T. P. The Development Phase of Technological Change. *Technology and Culture* 17:423-31.
 - [29] Keller, A. Archimedean Hydrostatic Theorems and Salvage Operations in 16th-Century Venice. *Technology and Culture* 12 (4): 602-17, 1971.
 - [30] Keller, A. Has Science Created Technology? *Minerva* 22: 160-82, 1984.
 - [31] Kerker, M. Science and the Steam Engine. *Technology and Culture* 2: 381-90, 1961.
 - [32] Kline, R. Science and Engineering Theory in the Invention and Development of the Induction Motor, 1880-1900. *Technology and Culture* 28 (2): 283-313, 1987.
 - [33] Kranakis, E. F. The French Connection: Giffard's Injector and Nature of Heat. *Technology and Culture* 23 (1): 3-38, 1982.
 - [34] Kranzberg, M. The Unity of Science--Technology. *American Scientist* 51 (1): 48-66, 1967.
 - [35] Kuhn, T. S. Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot. *Archives Internationales D'Histoire des Sciences* 20 (251): 251-5, 1960.
 - [36] Kuhn, T. S. Sadi Carnot, and the Cagnard Engine. *Isis*

52: 567-74, 1961.

- [37] Küppers, G. On the Relation between Technology and Science -- Goals Knowledge and Dynamics of Theories. The Example of Combustion Technology, Thermodynamics and Fluidmechanics. In: Krohn, W.; Layton, E. and Weingart, P., comps. *The Dynamics of Science and Technology. Sociology of the Sciences. 2.* Dordrecht, Reidel, 1978, p. 219-50.
- [38] Layton, E. Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-Century America. *Technology and Culture* 12 (4): 562-80, 1971.
- [39] Layton, E. Technology as Knowledge. *Technology and Culture* 15 (4): 31-41, 1974.
- [40] Layton, E. American Ideologies of Science and Engineering. *Technology and Culture* 17: 688-700, 1976.
- [41] Layton, E. Technology and Science, or "Vive La Petite Difference". In: Suppe, F. and Asquith, P. D. *PSA 1976. 2.* East Lansing, Philosophy of Science Association, 1977, p. 173-84.
- [42] Layton, E. Scientific Technology, 1845-1900: The Hydraulic Turbine and the Origins of American Industrial Research. *Technology and Culture* 20: 64-89, 1979.
- [43] Layton, E. Through the Looking Glass, or News from Lake Mirror Image. *Technology and Culture* 28 (3): 594-607, 1987.
- [44] Layton, E. Science as a Form of Action: The Role of the Engineering Sciences. *Technology and Culture* 29 (1): 82-97, 1988.
- [45] Mark, R. and Jonash, R. S. Wind Load on Gothic Structure. *Journal of the Society of Architectural Historians* 29 (3): 222-30, 1970.
- [46] Molella, A. P. and Reingold, N. Theorists and Ingenious Mechanics: Joseph Henry Defines Science. *Science Studies* 3: 323-51, 1973.

- [47] Multhauf, R. P. The Scientist and the "Improver" of Technology. *Technology and Culture* 1: 38-47, 1955.
- [48] Multhauf, R. P. The French Crash Program for Salpeter^t Production, 1776-94. *Technology and Culture* 12 (2): 163-81, 1971.
- [49] Nersessian, N. J. *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1984. (Science and Philosophy).
- [50] Price, D. J. deS. Perspectives on Science and Technology Policy. An Extrinsic Value Theory for Basic and "Applied" Research. *Policy Studies Journal* 5: 160-8, 1976.
- [51] Price, D. J. deS. Of Sealing Wax and String. *Natural History* 93 (1): 49-56, 1984.
- [52] Rapp, F. Technology and Natural Science -- A Methodological Investigation. In: Rapp, F., comp. *Contributions to a Philosophy of Technology*. Dordrecht, Reidel, 1974, p. 93-114.
- [53] Rapp, F. The Physical and the Social Foundations of Technology. *Theory and Decision* 10: 201-27, 1979.
- [54] Redhead, M. Models in Physics. *British Journal for the Philosophy of Science* 31: 145-63, 1980.
- [55] Reynolds, T. S. Scientific Influences on Technology: The Case of the Overshot Waterwheel, 1752-1754. *Technology and Culture* 20: 270-95, 1979.
- [56] Rossi, P. *Os Filósofos e as Máquinas, 1400-1700*. São Paulo, Companhia das Letras, 1989. Trad. Carotti, F.
- [57] Schofield, R. E. The Industrial Orientation of Science in the Lunar Society of Birmingham. *Isis* 48: 408-15, 1957.
- [58] Servos, J. W. The Industrial Relations of Science: Chemical Engineering at MIT, 1900-1939. *Isis* 71 (259):531-49, 1980.
- [59] Shepard, H. A. Basic Reserach and the Social System of Pure Science. *Philosophy of Science* 23 (1): 48-57, 1956.

- [60] Shrum, W. Are 'Science' and 'Technology' Necessary?: The Utility of Some Old Concepts in Contemporary Studies of Research Process. *Sociological Inquire* 54 (3): 324-40, 1986.
- [61] Simon, H. A. *Models of Discovery; and Other Topics in the Methods of Science*. Dordrecht, Reidel, 1977. (Boston Studies in the Philosophy of Science. 54.).
- [62] Skolimowski, H. The Structure of Thinking in Technology. *Technology and Culture* 7: 371-83, 1966.
- [63] Smith, C. S. The Interaction of Science and Practice in the History of Metallurgy. *Technology and Culture* 2: 357-67, 1961.
- [64] Vincenti, W. G. Control-Volume Analysis: A Difference in Thinking between Engineering and Physics. *Technology and Culture* 23: 145-74, 1982.
- [65] Wartofsky, M. W. Philosophy of Technology. In: *Current Research in Philosophy of Science*. Philosophy of Science Association, 1979, p. 171-84.
- [66] Weingart, P. The Relation Between Science and Technology -- A Sociological Explanation. In: Krohn, W.; Layton, E. and Weingart, P., comps. *The Dynamics of Science and Technology. Sociology of the Sciences*. 2. Dordrecht, Reidel, 1978, p. 251-86.
- [67] Wigglesworth, V. E. The Contribution of Pure Science to Applied Biology. *Annals of Applied Biology* 42: 34-44, 1955.