# A Dimensão Cognitiva da Engenharia

José Manoel Carvalho de Mello*
Emmanuel Paiva de Andrade**

## Resumo

*Recentes contribuições do campo dos estudos sociais da ciência e da tecnologia têm dado ênfase à visão da tecnologia como um corpo autônomo de conhecimento, buscando uma melhor compreensão do que lhe é específico, das características próprias do conhecimento tecnológico.*

*Neste trabalho, a partir desta caracterização, apresentamos e discutimos elementos para uma conceituação do conteúdo do conhecimento relativo à engenharia, ou seja, da dimensão cognitiva da engenharia. Em adição, abordamos as atividades da engenharia - projetação, produção e operação de artefatos - geradoras de conhecimento, com destaque para a projetação. Por último, analisamos possíveis implicações destes conceitos no ensino de engenharia.*

***José Manoel Carvalho de Mello**
*Ph.D University of Brimingham, Pós-Doutorado no Centre Science Technologie et Societé do Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.*
****Emmanuel P. de Andrade**
*MSc, COPPE/UFRJ, em doutoramento no Programa de Eng. de Produção da COPPE/UFRJ.*

## 1. Introdução

Apesar de todas as discussões envolvendo, de um lado, os que enfatizam os efeitos desastrosos da tecnologia na vida moderna e, de outro lado, os que a vêem como panacéia para todos os problemas humanos, apesar da disposição militante dos movimentos pró ou anti-tecnologia, a questão da natureza da tecnologia e dos aspectos cognitivos da mudança tecnológica só recentemente passaram a receber a devida atenção por parte da academia.

Em particular, são os historiadores da tecnologia os que mais têm contribuído neste sentido, formulando generalizações teóricas acerca das causas e dos mecanismos da mudança tecnológica, com ênfase em seus aspectos cognitivos. Nesse sentido, na medida em que a forma mais estudada de mudança de conhecimento é a ciência, muitos destes estudos têm explorado analogias e diferenças entre mudanças no conhecimento científico e mudanças no conhecimento tecnológico, na esteira do trabalho seminal de Thomas Kuhn, publicado em 1962, intitulado *A Estrutura das Revoluções Científicas.*

(*) Filiação Institucional: Professor Adjunto na COPPE/UFRJ.
(**) Filiação Institucional: Prof. Assistente e Vice-Coordenador do Curso de Engenharia de Produção da UFF.

Entre as contribuições importantes para uma revisão critica da natureza da tecnologia, *Laudan (1984)*, no capítulo introdutório do livro por ela editado, oferece uma rica discussão sobre os aspectos cognitivos da mudança tecnológica, onde aborda justamente a questão da relevância de modelos de mudança científica para a modelagem da mudança tecnológica.

*Stauden-maier (1985)* realiza um extenso estudo em torno do debate sobre a relação entre ciência e tecnologia, explicitando as idéias subjacentes nos autores que trataram da questão ao longo dos vinte primeiros anos da *Society for the History of Technology* publicados na revista *Technology and Culture.* Dessa análise formula o que chamou de características do conhecimento tecnológico, numa perspectiva crítica ao chamado modelo da ciência aplicada.

*Vincenti (1990),* trabalhando dentro do mesmo referencial teórico e utilizando e/ou adaptando categorias que vêm desde Kuhn, como a idéia de "projeto normal", aplica a metodologia em questão para estudar a história da aviação, ramo da tecnologia no qual milita como engenheiro pesquisador. Na introdução do seu trabalho Vincenti faz uma reflexão sobre a engenharia como conhecimento e aponta os marcos teóricos e as influências fundamentais no seu trabalho.

*Constant (1984)* no seu ensaio sobre as comunidades e hierarquias na prática tecnológica aborda a questão da relação entre ciência e tecnologia a partir de três pontos básicos: (i) a estrutura hierárquica e altamente estruturada da prática tecnológica em contraposição à ciência; (ii) os modos operatórios na tecnologia e na ciência, tanto os que são explicitamente sancionados quanto os que são implicitamente tolerados; e (iii) o papel dos critérios econômicos e sociais na prática profissional, que funcionam como restrições externas ou como valores internalizados.

Finalmente, *Faulkner (1994),* a partir de estudo empírico nos setores de biotecnologia, materiais cerâmicos e computação paralela, estudando os tipos e categorias de conhecimento utilizados na pesquisa e desenvolvimento que conduzem à inovação, bem como as suas fontes, elabora proposta de uma tipologia composta que busca articular simultaneamente os tipos específicos de conhecimento (sua tipologia), os objetos ou as atividades com as quais eles estão associados (produto, P&D etc) com as distinções mais gerais sobre o caráter do conhecimento (tácito, específico etc).

Nossa perspectiva no presente trabalho é, adotando esse referencial teórico, abordar a tecnologia enquanto uma forma específica de conhecimento, destacando suas principais características, como também a mudança tecnológica, com enfase na estrutura da prática científica. Essa perspectiva fornece a base teórica que nos permite articular, na medida correta, a dimensão cognitiva da engenharia com o seu caráter de construção social.

# 2. Os Limites do Debate C&T

A produção do conhecimento tecnológico possui uma dinâmica própria e se realiza em comunidades que possuem características específicas. A compreensão dessas especificidades, cuja análise mais criteriosa e sistemática só muito recentemente vem se desenvolvendo, se faz necessária e urgente a fim de se alcançar um planejamento mais eficaz tanto ao nível de políticas públicas de C&T quanto ao nível da competitividade e eficiência de organizações que têm na tecnologia a sua estratégia fundamental.

Até o presente momento, o modelo de ciência aplicada, que considera a tecnologia como uma mera aplicação do conhecimento científico gerado, tem, predominantemente, informado esse planejamento, não diferenciando com clareza suficiente, para efeitos de avaliação, de acompanhamento e de definição de estratégias, o que é específico da ciência do que é específico da tecnologia. Para uma melhor compreensão da dinâmica das inovações tecnológicas faz-se, portanto, necessária uma melhor caracterização, mais sofisticada, do lado tecnológico da relação C&T, além da utilização de novas categorias e ferramentas de análise.

Uma parte importante dessa caracterização mais sofisticada deve enfatizar os aspectos cognitivos próprios desse tipo de conhecimento,

olhando-o a partir de dentro, na dinâmica mesmo da sua produção. Deve-se enfrentar aí uma disputa teórica pelo resgate de conceitos, linguagens e práticas que refletem, direta ou indiretamente, o domínio internalizado do modelo de ciência aplicada. Quando se fala, por exemplo, em conhecimento científico, é consenso que se está referindo ao conhecimento produzido pelos cientistas, numa aceitação generalizada de que o papel do cientista é produzir conhecimento. Quando se fala, por outro lado, de conhecimento de engenharia (aliás aqui já nos deparamos com dificuldade de ordem etimológica, dada a imprecisão da tradução de *"engineering knowledge"* por "conhecimento de engenharia"), na maior parte das vezes está-se referindo ao conhecimento usado, e não gerado, pelos engenheiros, numa aceitação tácita do papel que cabe ao engenheiro no modelo de ciência aplicada.

Não se trata de uma disputa corporativa - e dizer isto já é sintomático da dificuldade e da sutileza do empreendimento - mas, seguindo Michel Serres, de se buscar referências externas ao modelo que se quer avaliar criticamente. O debate das relações entre C&T, com toda a sua diversidade de argumentos e incorporação e/ou construção de novos fatos, em última análise, está circunscrito nas afirmações genéricas sintetizadas por *Staudenmaier (1985),* segundo as quais os participantes desse debate se situam, de uma forma ou de outra, em uma ou mais das seguintes posições:

**1.** a atividade científica é motivada pela curiosidade enquanto a tecnologia é motivada pela vontade de resolver problemas;

**2.** o "artefato desejado" na ciência é um modelo teórico enquanto o conhecimento está a serviço do "artefato desejado" da tecnologia;

**3.** a ciência provoca a criatividade tecnológica e racionaliza a prática tecnológica existente;

**4.** a tecnologia contribui para a ciência pela criação de instrumentos, pela colocação de problemas científicos e pela criação de novos modelos conceituais;

**5.** as atividades científicas e tecnológicas que ocorrem nas comunidades humanas geralmente influenciam as interações entre a ciência e a tecnologia;

**6.** a tecnologia é ciência aplicada;

**7.** a tecnologia não é ciência aplicada.

É necessário, por conseguinte, romper os termos e os limites desse modelo, ultrapassando os marcos do debate sobre relações para construir, com uma razoável base empírica, os elementos de uma epistemologia da engenharia. A nosso ver, Staudenmaier dá um passo importante nessa direção ao trabalhar com a idéia de características do conhecimento tecnológico.

# 3. Características do Conhecimento Tecnológico

Ser diferente significa, antes de mais nada, possuir um conjunto de características ou de atributos que o possam caracterizar univocamente. *Staudemnaier (1985)* analisou as diferentes visões e perspectivas da tecnologia expressas ao longo de vinte anos (de 1959 a 1980) por diversos autores na revista *Technology and Culture"* Neste trabalho, o autor foi além do mero inventário do debate, procurando extrair elementos que caracterizassem a especificidade do conhecimento tecnológico fugindo dos termos e dos limites impostos pelo modelo de ciência aplicada. O conhecimento tecnológico é visto como um dos lados de um modelo interativo de relação, no qual a tecnologia e a ciência são formas autônomas de culturas que interagem mutuamente de uma forma complexa. A natureza do conhecimento tecnológico restringe mas não define esta relação.

Na sua análise do debate em torno da relação entre ciência e tecnologia, *Staudemnaier (1985)* extrai características presentes, implícita ou explicitamente, nas diferentes posições assumidas no debate que poderíamos identificar com as características do conhecimento e, neste caso, do conhecimento tecnológico. Após alertar para o caráter de construção teórica destas características, e portanto da forte interrelação entre elas, o autor chama a atenção para o fato de que todas as características derivam a sua qualidade cognitiva singular da tensão entre o projeto técnico e seu ambiente, o qual define a própria natureza da tecnologia.

Os *conceitos científicos,* primeira das características do conhecimento tecnológico, não permanecem na sua forma original quando são apropriados pelo pensamento técnico. Eles são reestruturados de acordo com as demandas específicas do problema em questão, antes que possam contribuir como característica para o conhecimento tecnológico. Este princípio pode ser visto mais claramente nos projetos de desenvolvimento, mas eles estão também implícitos nas discussões sobre a invenção que vêem a ciência como uma parte necessária do *background* do inventor. Fica claro que a tradição científica sozinha não pode resultar no conhecimento tecnológico específico. Os fatores metodológicos básicos para o crescimento da tecnologia são bastante diferentes dos fatores do crescimento da ciência.

A segunda característica do conhecimento tecnológico está enraizada no específico da *práxis* tecnológica. É comum que um dado problema técnico traga à tona questões que não se conheciam, ou às quais não se dava, até então, a devida atenção. Para resolver tais questões torna-se necessário acumular novos dados e fatos, o que já significa uma ampliação do conhecimento tecnológico pela articulação de novas questões ou pela mudança de *gestalt.* A informação necessária para responder tais questões é o que Staudenmaier (1985) atribui ser a segunda característica do conhecimento tecnológico e chama de *problematic data.*

Os *problematic data* são encontrados nos casos de tecnologia emergente, quando o reconhecimento de desinformação ocorre em um dado processo de desenvolvimento. Um novo conhecimento é requerido antes que o processo possa avançar. Uma outra possibilidade é quando a falta de informação é reconhecida não em casos de tecnologia emergente mas em problemas encontrados durante o uso normal de algum artefato ou processo, com a ocorrência de algum problema ou acidente.

O acidente ocorrido em 1989 com o Alto Forno número 3 da Companhia Siderúgica Nacional, equipamento vital da empresa, ensejou a formação de equipe de pesquisadores e técnicos que, além de suportarem tecnicamente as investigações que se sucederam ao fato, produziram novos e importantes conhecimentos acerca da marcha operacional do forno e sobre o funcionamento do próprio equipamento. A propósito, a siderurgia possui experiências interessantes a esse respeito. É do nosso conhecimento a existência de empresas siderúrgicas internacionais que fornecem, através de seus técnicos e engenheiros, serviços de consultoria e suporte técnico na resolução de problemas a um custo muito baixo, apenas para ampliarem seus conhecimentos acerca da natureza dos problemas potenciais.

De uma forma ou de outra os dados assim obtidos o são a partir da tensão entre os projetos conceituais e os limites materiais e sócio-técnicos, o que configura uma forma de cognição irredutivelmente distinta daquela da ciência.

A terceira característica do conhecimento tecnológico presente nos artigos da *Technology and Culture,* trata da *teoria da engenharia,* entendida como um corpo de conhecimentos que utiliza métodos experimentais para construir sistemas intelectuais formal e matematicamente estruturados. Esses sistemas, que formam a própria teoria da engenharia, explicam as características comportamentais de uma classe particular de artefatos que são máquinas, vigas, pontes, computadores e outros dispositivos similares, que serão utilizados no treinamento de profissionais que, posteriormente, utilizarão o conhecimento geral contido neles para resolver problemas específicos.

Entendida dessa maneira, a teoria da engenharia se constitui como a mediação necessária entre a solução de um problema técnico específico e a generalização dos seus aspectos cognitivos em um corpo de conhecimento estruturado e acumulativo. Essa abordagem, presente em trabalhos de autores como Thomas Hughes e Edwin Layton, se contrapõe ao modelo de ciência aplicada na medida que identifica na própria *praxis* tecnológica a fonte original de novos conhecimentos tecnológicos bem como da sua sistematização.

A quarta e última característica do conhecimento tecnológico trata da importância fundamental do chamado *conhecimento tácito e local* dos envolvidos na produção de tecnologia, em contraposição à pretensa universalidade do conhecimento científico. Embora esse

conhecimento tácito seja importante também no âmbito do conhecimento científico, ele assume proporções muito maiores no caso da tecnologia, dadas as conseqüências econômicas e sociais do fracasso dos artefatos tecnológicos. Em contraposição à polarização tradicional entre o saber e o fazer, que fornece a base para o modelo da ciência aplicada, a maioria dos trabalhos da *Technology and Culture* abordam a tensão entre conhecimento abstrato e concreto, entre projeto e ambiente, como a base fundamental para a explicação adequada da cognição tecnológica. Por essa via os autores interpretam a *práxis* tecnológica como uma forma de conhecimento e não como uma aplicação de conhecimento.

# 4. A Tecnologia como Conhecimento

Uma grande barreira para a consideração da tecnologia como conhecimento resultou da crença generalizada de que a tecnologia é ciência aplicada e, portanto, uma vez que entendamos a gênese do conhecimento científico, nada resta a ser adicionado acerca do conhecimento tecnológico.

A despeito dos inúmeros artigos e livros dedicados ao exame revisionista da relação entre ciência e tecnologia, o mito da tecnologia como sendo ciência aplicada continua vivo mesmo entre alguns estudiosos da tecnologia e sem dúvida permanece forte na imaginação popular.

Recentemente a Revista Politécnica publicou um debate entre os professores *Soares (1992)* e *Vargas (1992)* em que, conquanto em posições antagônicas no debate, permanecem ambos, na perspectiva do modelo de ciência aplicada. Mario Bunge, citado no texto de Soares, está entre os autores da *Technology and Culture* alinhados ao modelo de ciência aplicada, que parece ser ainda predominante, inclusive no meio acadêmico.

Os engenheiros e tecnólogos, nesta visão, são profissionais que absorvem conhecimentos científicos para produzirem ou operarem artefatos materiais. Nesta perspectiva, conforme Vincenti, "estudando a epistemologia da ciência se estaria, automaticamente, dando conta do conteúdo de conhecimento da engenharia". Esta postura, predominante durante décadas, fez com que os aspectos cognitivos da engenharia e da tecnologia não merecessem atenção ou estudos sistemáticos nem dos próprios engenheiros, por formação pouco sensíveis a reflexões mais introspectivas, e nem dos filósofos da ciência ou profissionais da educação, marcados, em sua maioria, pelo modelo de ciência aplicada que vê a tecnologia e a engenharia como um empreendimento intelectualmente desinteres- sante e subordinado.

Num quadro de rápidos e profundos avanços tecnológicos, talvez mais rápidos e profundos que os próprios avanços científicos, a singularidade do conhecimento tecnológico no entanto teima em reaparecer e insiste em recolocar para um arco tão grande de profissionais, que vai de engenheiros a historiadores e filósofos da tecnologia, o enigma da esfinge: "decifra-me ou te devoro".

A tecnologia explora o ambiente diretamente e não vicariamente como a ciência. Os artefatos tecnológicos estão sujeitos à eliminação direta do ambiente de um modo que as teorias científicas não estão: aviões quebram, máquinas explodem etc. Por esta razão os profissionais tecnológicos tomam liberdades epistemológicas que geralmente não são permitidas aos cientistas. Os engenheiros, quando em dúvida, frequentemente podem superestimar no projeto. Se quebrar, podem aumentar a superestimação. Um dos principais modos nos quais a tecnologia ou a teoria da engenharia diferem da teoria científica ortodoxa está naquilo que é aceitável como simplificação legítima.

Há ainda quem proclame que a tecnologia é uma forma de ciência, dado que seus praticantes se propõem a resolver problemas racionalmente e, portanto, aplicando o "método científico". Este pensamento de fato vulgariza a questão tornando o conceito de método científico tão amplo de modo a nada excluir e a pouco explicar.

Hoje em dia, cresce o número de estudiosos da tecnologia que percebem tanto a ciência como a tecnologia como formas de conhecimento. Embora tendo em comum que tanto o conhecimento científico como o conhecimento tecnológico possam ser pensados como gerados por um processo racional de resolução de pro-

blemas, estas formas de conhecimento apresentam diferenças bastante significativas.

# 5. A Dimensão Cognitiva da Engenharia

A engenharia, coerente com o seu caráter pragmático, tem sido mais praticada do que definida. Não por falta de uma demanda insistente por definições "oficiais" da parte das instituições, principalmente as que são ligadas ao ensino. Esse descompasso entre muita atividade prática e poucas definições reflete, na verdade, a precariedade de reflexão teórica sobre o seu saber, abrindo caminho para improvisações e apropriações variadas.

A criação relativamente recente em inúmeras Universidades da disciplina de "Introdução à Engenharia" é um reflexo difuso da percepção da importância crucial de se investigar com atenção os aspectos cognitivos da tecnologia e da engenharia. Examinando, porém, as ementas e a condução prática que em geral se tem dado à disciplina, percebe-se que não se conseguiu desvendar a caixa, ainda preta, do saber tecnológico, e nem avançado muito na resposta à questão colocada provocativamente por Nathan Rosenberg ao seu colega Walter G. Vincenti sobre "o que é que os engenheiros realmente fazem?". Vincenti, entendendo a dimensão epistemológica da indagação do seu colega economista, respondeu com o seu livro *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History.*

Propositalmente no entanto, Vincenti (1990) deslocou a pergunta desde a dimensão do "fazer" até a dimensão do "saber", tratando no seu livro quase exclusivamente da organização do projeto como elemento constituinte - mas parcial, deve-se reconhecer - da epistemologia da engenharia, propondo uma formulação de categorias e atividades de geração de conhecimento que foram, posteriormente, utilizadas e expandidas por *Faulkner (1994)* num estudo empírico a partir do qual ela propõe uma tipologia composta dos diferentes tipos de conhecimento usados na inovação tecnológica.

Vincenti "define" a engenharia como uma "forma de atividade humana que se refere à prática de organizar o projeto, a produção e a operação de qualquer artefato que transforma o mundo físico à nossa volta de modo a atender a alguma necessidade reconhecida". A intencionalidade é portanto um traço característico desse tipo de atividade, que opera com metas e objetivos sempre muito presentes e fortemente condicionadores de decisões, que se tomam, quase sempre, com base em conhecimento incompleto ou incerto. Nas palavras de Vincenti, que trabalhou em projetos de engenharia aeronáutica durante muitos anos, "meus colegas e eu estivemos contínua e interessadamente conscientes dos objetivos práticos que nós servíamos."

Essa visão utilitária é condizente com a idéia, também difundida, da engenharia como uma atividade de resolução de problemas. Visão que também privilegia a dimensão de projeto da engenharia já que, para implementar dispositivos e sistemas que resolvam problemas, se requer que os dispositivos e sistemas sejam projetados. Na terminologia corrente, e ao nível do trabalho de engenharia, resolução de problema e projeto são quase sinônimos.

Utilizando a formulação de *Constant (1984),* que definiu "tecnologia normal", a partir da categoria kuhniana de ciência normal, como aquilo que a comunidade tecnológica faz cotidianamente, incluindo o aperfeiçoamento da tradição aceita ou da sua aplicação sob novas ou mais severas condições, Vincenti define *"projeto normal"* como o projeto envolvido em tal tecnologia normal. O engenheiro engajado em tal projeto sabe como o dispositivo em questão funciona, quais são as suas características e, que se adequadamente projetado, ele tem uma boa probabilidade de atender à tarefa desejada.

Como a tecnologia normal, o projeto normal também é criativo e construtivo e muda ao longo do tempo quando os projetistas colocam metas mais ambiciosas. As mudanças entretanto são incrementais em vez de essenciais. O projeto normal é evolucionário ao invés de revolucionário e o tipo de conhecimento requerido é enormemente diversificado e complexo. Além disso, tanto o projeto normal quanto o projeto radical se estruturam hierarquicamente e em múltiplos níveis. A interação desses vários níveis depende da natureza da tarefa de projeto

imediata, da identidade de alguns componentes do dispositivo, ou da disciplina de engenharia requerida.

*Faulkner (1994),* na revisão que faz acerca das tradições de pesquisa ligadas à inovação tecnológica, por um lado, e à distinção entre ciência e tecnologia, por outro, afirma que a centralidade do projeto na engenharia, fruto da sua orientação prática e voltada para a produção de artefatos, é uma das características cognitivas que a diferencia da ciência. *Thiollent (1994)* analisando a especificidade do raciocínio tecnológico, destaca que a "projetação" - termo por ele utilizado para dar conta, em língua portuguesa, da palavra *"design"* - é uma das principais características da tecnologia, das diversas engenharias, além da arquitetura e do desenho industrial. Segundo ele "a forma de raciocínio da projetação parece apresentar uma especificidade normativa e avaliativa, o que de fato coloca a questão da formalização das operações normativas no raciocínio projectual por meios metodológicos apropriados e diferentes dos métodos da ciência em geral. "

Considerações teóricas dessa natureza, acerca do instrumental cognitivo da engenharia, são fundamentais para suportar qualquer reformulação do ensino de engenharia. A regulação e os indicativos do mercado são necessários mas, com certeza, não são suficientes para embasar uma reformulação na profundidade que as mudanças sócio-econômicas, culturais e tecnológicas estão a exigir. Matéria publicada na Revista Politécnica, relatando *insights* importantes da "Comissão de Modernização Curricular" da Poli-USP, aponta para três tipos de perfis de engenheiros, que atenderiam a diferentes demandas de solução de problemas: o engenheiro-cientista, o engenheiro-projetista e o engenheiro-sistêmico. Formulação similar foi exposta pelo professor Fleury, membro da referida Comissão, na reunião da Comissão de Ensino de Graduação do XIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção em outubro de 1994.

Mesmo não estando explícito no referido artigo da Poli, cuja ênfase parece ser antes a demanda sócio-técnica que as características cognitivas próprias de cada alternativa, é forçoso relacionar os três tipos de engenheiros que teoricamente se poderiam formar com as três dimensões da atividade de engenharia presente na definição de Vincenti. Deste confronto percebe-se a tendência recorrente de se acentuar a organização do projeto ao se pensar epistemologicamente na atividade de engenharia. O engenheiro-cientista e o engenheiro-projetista, conquanto diferentes em nuances relativas à geração de novos artefatos (cientista) ou à aplicação do estoque de artefatos de engenharia (projetista), se aproximam da dimensão de organização do projeto, com atividades mais diretamente ligadas à manipulação simbólica de planos, teorias, especificações etc. O engenheiro-sistêmico, reconhecida e coincidentemente a categoria mais carente ainda de ênfase acadêmica, por sua vez, estaria mais próximo das atividades ligadas à organização das dimensões de produção e operação.

O trabalho de Vincenti, especialmente nas suas lacunas, foi uma importante fonte de inspiração para a elaboração por *Faulkner(1994)* de uma tipologia composta para caracterizar os tipos de conhecimento presentes nos diferentes processes de inovação tecnológica. Juntando perspectivas teóricas e metodológicas variadas, extraídas de tradições de pesquisa distintas, Faulkner realizou uma síntese em que os aspectos cognitivos e epistemológicos da engenharia são examinados na perspectiva de estabelecer a extensão e o caráter dos fluxos de conhecimento que vão da pesquisa pública para os processos de inovação industrial.

Faulkner agrupa os diferentes tipos de conhecimentos, presentes nos processo que levam à inovação, em cinco grandes grupos que refletem o conhecimento relacionado respectivamente ao mundo natural, à prática de projeto, à pesquisa e desenvolvimento, ao produto final e ao conhecimento propriamente dito. Além disso, para obter uma conceitualização mais complexa do conhecimento tecnológico, propõe que se incorporem três eixos taxonômicos.

O primeiro deles se refere ao tipo de conhecimento e inclui a investigação da área específica de conhecimento (teoria científica, princípios de engenharia e conhecimento do conhecimento), da informação técnica (especificações e performance de operação de produtos e componentes, resultados e procedimentos de testes), da qualificação envolvida (específica

e geral) e do conhecimento relacionado aos artefatos, incluindo aqui o conhecimento relevante sobre a instrumentação do processo e da pesquisa. O segundo eixo trata do objeto ou atividades sobre as quais o conhecimento diz respeito (produto, P&D, etc.). O terceiro eixo, finalmente, diz respeito ao caráter do conhecimento (tácito, específico, informal, etc).

Utilizada de forma prospectiva, a conceitualização proposta por Faulkner fornece instrumental importante para, juntamente com definições de caráter mais estratégico, se avaliar em profundidade os atuais currículos de engenharia. Não se trata de um empreendimento fácil, quer pela quantidade de parâmetros envolvidos, quer pelo caráter de novidade da ferramenta conceitual proposta, estando ainda sujeita a validações e aprimoramentos que, no entanto, só podem se fazer no processo da sua utilização.

# 6. Conclusão

A concepção da tecnologia e da engenharia como um corpo autônomo de conhecimento, que interage com outros corpos autônomos, gerando e utilizando os tipos mais diferentes de informações e práticas, tem norteado o trabalho dos autores analisados que, partindo de estudos empíricos, têm avançado na conceitualização mais precisa do que é o conhecimento tecnológico. Tanto Vincenti, investigando as características do conhecimento utilizado para projetar, quanto Faulkner, investigando o conteúdo de conhecimento presente na inovação tecnológica, chamam a nossa atenção fundamentalmente para a importância de se compreender a prática da engenharia num contexto de mudança tecnológica, como uma articulação balanceada entre a demanda sócio-técnica e a dimensão cognitiva que lhe é própria.

Apesar da inestimável contribuição do trabalho de Vincenti para a formalização dos aspectos cognitivos da engenharia, ao menos duas ordens de questões merecem considerações adicionais. A primeira trata da ênfase exclusiva que dá ao aspecto do projeto no seu trabalho. Numa área reconhecidamente carente de reflexões teóricas como o conhecimento de engenharia, o avanço que representa o seu trabalho torna-se necessário mas não suficiente. Para uma epistemologia completa da engenharia, fica faltando investigação da mesma profundidade sobre a organização das dimensões da produção e da operação dos artefatos.

O segundo aspecto, de natureza mais filosófica, diz respeito a considerações sobre em que medida a atividade de engenharia pode ser, realmente, universalizável. Até que ponto projeto na engenharia aeronáutica tem as mesmas características cognitivas que projeto na engenharia mecânica, por exemplo. Significa dizer que falta uma consideração mais sistemática dos aspectos sociais e culturais presentes no desenvolvimento do conhecimento de engenharia, enquanto um processo de construção social, que não pode se limitar a uma intervenção sobre a natureza, mas principalmente à elaboração de um diálogo entre natureza e cultura, entendida esta no sentido proposto por Charles P. Snow no livro *The two cultures and the Scientific Resolution*, citado na bela reflexão do professor *Milton Vargas (1994)* intitulado Cultura e Tecnologia.

Na perspectiva desse diálogo, o trabalho do engenheiro, seja ele cientista, projetista, sistêmico ou que outra caracterização se possa dar, consiste em prover e articular recursos, materiais e de conhecimento, para viabilizar a migração entre dois cenários: o ambiente tal qual está e o ambiente tal qual se deseja. O instrumento primeiro, mas não o único, utilizado para viabilizar a migração, no caso da engenharia, é o projeto ou, para ser mais preciso, a projetação no sentido utilizado por *Thiollent (1994)*. Nesse sentido o projeto, premido por uma continua tensão entre o ambiente que se intenta mudar e o ambiente desejado, possui características cognitivas particulares, não podendo ser reduzido a uma mera aplicação de conhecimentos científicos.

A atenção a este tipo de consideração impacta, com certeza, a política de formação dos diferentes perfis de engenheiros. Entre as características de ordem culturais e pessoais do indivíduo que busca a sua formação profissional (portanto na esfera dos dons pessoais) e a política universitária deliberada, a ser construída, de formação daquele determinado tipo de pro-

fissional que resolve determinado tipo de problemas (portanto da esfera, em última análise, de uma demanda do mercado, historicamente determinada) interpõe-se, necessariamente, até mesmo para garantir que esse encontro não seja fortuito, mas conscientemente provocado, a compreensão profunda da dimensão cognitiva da engenharia.


# ABSTRACT

*Recent contributions from the area of social studies of science and technology have placed emphasis on the concept of technology as being an autonomous body of knowledge, which searches for a better understanding of its own specifications and for the typical characteristics of such kind of knowledge.*

*In this paper, starting from this characterization, we present and discuss the elements used to form the concept of knowledge content relative to engineering, as to say, of the cognitive dimension of engineering. In addition, we approach the engineering activities such as design, production and operation of artifacts, from where this knowledge comes, highlighting the design. At* ***last,*** *we analyse possible implications of these concepts on the teaching of engineering.*

## Referências Bibliográficas

**BIJKER, W. E., HUGHES, T. P., PINCH, T.** (Ed.). General introduction. In: ___., ___., ___., *The social construction of technological systems*: new directions in the sociology and history of technology. Cambridge, Mass. : MIT, c 1989.

**CONSTANT, E. W.** Communities and hierarchies: structure in the pratice of science and technology. In: LAUDAN, R. (Ed) *The nature of technological Knowledge*: are models of scientific change relevant? Dordrecht; Boston: Reidel, 1984.p. 27-43. (Sociology of the sciences monographs).

**CYTRYNOWICZ, R.** O engenheiro do século 21. *Revista Politécnica,* São Paulo, v. 88, n. 203, p. 39-44, out/dez. 1991.

**FAULKNER, W.** Conceptualizing knowledge used in innovation. *Science, Technology & Human Values,* London, v. 19 , n. 4, p. 425-58, Autumn, 1994.

**KUHN, T. S.** The structure of scientific revolutions. 2 ed. /Chicago: The University of Chicago, 1962. 210 p.

_____. A estrutura das revoluções científicas. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 3 ed. São Paulo: Perspectiva, 1991. 257p. (Debates, v. 115).

**LAUDAN, R.** Introduction: In: ___. (Ed.). *The nature of technological Knowledge*: are models of scientific change relevant? Dordrecht; Boston: Reidel, 1984. p. 1-26. (Sociology of the sciences monographs).

**LAYTON, E.** Mirror - image twins: the communities of science and technology in 19th Century America. In: REYNOLDS, T. S. (Ed.) The engineer in America: a historical antology from technology and culture. Chicago: University of Chicago, c 1991. 437 p.

**SOARES, J. O. P.** Definindo tecnologia. *Revista Politécnica,* São Paulo, v. 89, n. 204/205, p. 78, jan./jun., 1992.

**STAUDENMAIER, J. M.** Technology's storytellers: reweaving the human fabric. Cambridge, Mass. MIT, 1985. 282 p.

**THIOLLENT, M. J-M.** Processos cognitivos e normativos da tecnologia e suas implicações na pesquisa e no ensino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 22, 1994, Porto Alegre. *Anais* ... Porto Alegre: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 1994, p. 373-81.

**VARGAS, M.** Cultura e Tecnologia. *Revista Politécnica,*São Paulo, v. 91, n. 214/215, p. 62-69, jul/dez. 1994.

_____. Re-definindo tecnologia. *Revista Politécnica,* São Paulo, v. 89, n. 204/205, p. 80, jan./jun. 1992.

**VINCENTI, W. G.** *What engineers Know and how they know it*: analytical studies from aeronautical history. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990.