

A Experiência de Colaboração do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG com Empresas – Lições para a Lei de Inovação

Evando Mirra de Paula e Silva

Professor Titular da UFMG e Diretor da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

A história de colaboração do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG com a Indústria começou como uma busca de identidade acadêmica. No início dos anos 1970 foi criado o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (CPGEM) na UFMG, um dos primeiros da Pós-Graduação em Engenharia no País. Seus fundadores eram, à época, um grupo de jovens pesquisadores que regressavam ao Brasil depois de concluírem o doutorado em diferentes universidades do mundo. O setor de Materiais do IPR, Instituto de Pesquisas Radioativas de MG, forneceu um abrigo acolhedor para o início das atividades, em associação com a universidade.

Desde o princípio havia clareza quanto à necessidade de estruturar o curso em torno de linhas de pesquisa que fossem relevantes para a região e para o País. Era claro para o grupo que não se queria a solução inercial de cada um simplesmente continuar no campo em que tinha feito o doutorado, apenas porque fosse um tema interessante que havia aprendido a dominar. Embora cada pesquisador guardasse algum contato com a linha de pesquisa em que se formara, procurávamos identificar o que seria um programa relevante de atuação, com que se construiria a competência acadêmica e a identidade do Curso. O início dos anos 1970 foi, no Brasil, como sabemos, um período de

importação desenfreada de tecnologia. A tecnologia importada, sem que houvesse localmente uma compreensão mais precisa do que se tratava, em geral funcionou mal. Via-se que se estava comprando tecnologia sofisticada, no esforço de implantação ou de modernização do parque industrial, e que havia sérias dificuldades em fazer operar aqui as receitas trazidas. Essa foi a janela de oportunidade que tentamos explorar.

No nosso caso, em Minas, examinamos em especial o ambiente metal-mecânico, notadamente a Siderurgia, e constatamos que, de fato, muita coisa não estava funcionando. Tentamos estabelecer contato com as empresas, propondo nossa contribuição no diagnóstico dos problemas e na sua solução. É claro que a escuta foi mínima, ninguém estava preparado pra isso, não estava no ar do tempo. Mas, finalmente, uma conjugação feliz de circunstâncias abriu uma oportunidade preciosa. Foi quando assumiu a presidência da Acesita um jovem engenheiro, conhecido de alguns de nós, que ouviu a proposta com atenção. Propusemos também um mecanismo para o financiamento das ações, através do programa ADTEN da FINEP, de juros baixos e confortáveis prazos de carência. Depois de avaliar a idéia, ele concordou em tentar a experiência, não sem antes nos recomendar cautela: “Olha lá o que vocês vão fazer, não me comprometam.” Começamos estudando duas das tecnologias que a empresa havia recentemente adquirido e propusemos oferecer, dentro da Usina, uma série de cursos sobre os princípios básicos em que se fundavam aquelas tecnologias. Na prática, isso equivalia a abrir os pacotes tecnológicos. Esses cursos acabaram tendo sucesso e nos encorajaram o organizar conteúdos de interesse mais geral sob a forma de módulos que poderiam ser oferecidos a engenheiros e técnicos de todas as empresas do setor.

Ao mesmo tempo em que continuávamos a realizar operações específicas com algumas empresas, começamos assim um bem-sucedido programa de Cursos de Extensão Tecnológica, abertos a todos os interessados no País. Editamos os módulos na forma de livros e manuais, com o apoio do CNPq, e organizamos um calendário de oferta dos cursos. A administração nacional do Programa ficou a cargo da ABM, Associação Brasileira de Metalurgia e de Materiais. Esta forma de gestão tinha muitas vantagens. Garantia, em especial, a universalidade da oferta e tinha na ABM um gestor estratégico, pelo fato de congrega todas as empresas – além dos docentes e pesquisadores – do setor.

Para nós, esses cursos de extensão foram um extraordinário aprendizado do que realmente se passava no ambiente industrial. Começamos a conhecer as empresas, as pessoas envolvidas e a natureza das questões que se colocavam no desenvolvimento tecnológico. Causou grande impacto, sobretudo, nossa descoberta de um dinamismo, na indústria, que não conhecíamos.

Do ponto de vista das empresas, acho que o mais marcante era o verdadeiro susto que levavam, ao perceber como uma universidade que realizava pesquisa, mesmo incipiente, era completamente diferente da instituição de ensino em que seus quadros haviam se formado. Era uma universidade mais competente, treinada na abordagem de problemas novos, capaz de mobilizar conhecimentos que lhes interessavam e com maior velocidade de resposta.

O passo adiante foi decisivo: a criação de programas cooperativos de Pós-Graduação entre a universidade e a empresa. O primeiro deles foi feito com a Acesita, como desdobramento do trabalho iniciado nos Cursos de Extensão, e teve início em 1975. Basicamente a idéia era simples. Primeiro, fazia-se a pré-seleção e preparação prévia dos candidatos na Usina, seguida de seu deslocamento à UFMG para cursar, por um ano, as disciplinas da pós-graduação. Os trabalhos de pesquisa eram realizados, em seguida, na universidade e na usina, em tema escolhido de comum acordo.

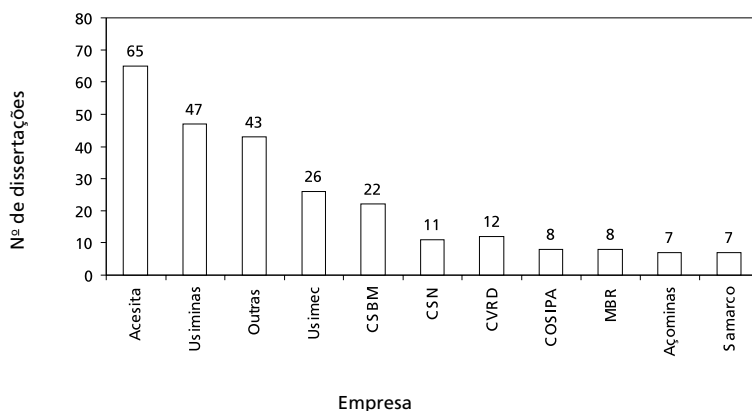
A pré-seleção foi introduzida para corrigir um erro quase fatal, porque os candidatos inicialmente enviados pela empresa tiveram sérias dificuldades nos exames de seleção. Foi um problema delicado. O padrão da pós-graduação exige alunos com certo perfil. A seleção se fazia em avaliação contínua, durante um *curso de nivelamento*, ao longo de seis semanas. É obvio que não poderia haver nenhuma exceção relacionada à origem do candidato. O problema ocorrido nesse caso foi administrado, com o cuidado e a delicadeza necessários, mas ficou claríssimo que teríamos que ter procedimentos rotineiros que evitassem dificuldades dessa natureza. A pré-seleção na usina permitiu um equacionamento adequado e o problema não voltou a se repetir. Foi a primeira de uma série de lições que aprendemos pelo caminho e que mostraram a necessidade de acompanhamento permanente e medidas corretoras.

Ao longo dos anos, o Programa conheceu grande sucesso. A cooperação com a Acesita teve início em 1975. Já no ano seguinte incluía a Usiminas, depois a Belgo-Mineira e, gradualmente, empresas de todo o País, como CSN,

Cosipa, Vale do Rio Doce, Gerdau. Houve ainda participação de empresas do exterior. Em alguns casos, além da Metalurgia, a iniciativa compreendia outras especialidades, como Engenharia Térmica, Eletrônica, Elétrica, Mecânica; Informática e Estatística. Eram demandas formuladas no ambiente metalúrgico, mas as soluções demandavam também outras competências. Montávamos, nesse caso, o quebra-cabeça e intermediávamos as soluções.

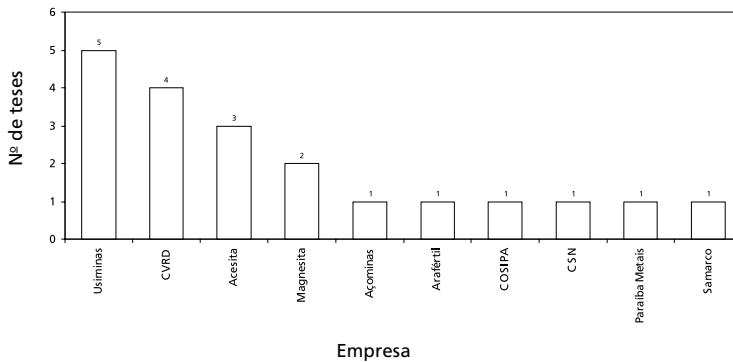
Passaram-se 30 anos. Formaram-se, nesse Programa, até junho de 2006, um total de 256 Mestres em Engenharia Metalúrgica, vinculados a 36 diferentes empresas do setor. Eles representam parcela significativa do total de 595 Mestres até agora formados pelo CPGEM. A Acesita foi quem manteve ritmo mais intenso, formando no total 65 Mestres em Ciências. O quadro 1 permite uma visão geral do Programa.

QUADRO 1
CPGEMM – Empresas/Mestrado



Ocorreu então uma surpresa. Nossa proposta inicial dizia respeito apenas ao Mestrado, cuja utilidade e cujo potencial para o sistema de produção eram muito claros. Mas algumas empresas começaram a se interessar também pelo doutorado. Este Programa é mais recente, mas já se formaram ali 20 doutores, vinculados a dez empresas. Embora representem um percentual menor, face ao total de 147 doutores até agora formados pelo curso, sua presença se reveste de um grande significado. A Usiminas é a empresa que formou maior número de doutores, seguida pela Vale do Rio Doce.

QUADRO 2
CPGEMM – Empresas/Doutorado



Vale a pena lembrar que esses números relatam apenas parte da história. Como o Programa tem 30 anos, muitos dos mestres formados migraram na estrutura da empresa. Assumiram posições de maior responsabilidade, dirigiram centros de pesquisa ou outras unidades, tornaram-se diretores. Com isso criou-se uma importantíssima rede de relacionamento entre a empresa e a universidade. O fato de estar fundado no longo período de convivência – e uma das virtudes do trabalho em comum é a de gerar amizades – implica relações de confiança e diálogo muito mais fluido entre esses dois setores. Mas há ainda um produto muito interessante desse processo. Na medida em que recebíamos candidatos de diferentes empresas criou-se também um *networking* entre eles, e portanto entre essas empresas, no que diz respeito à pesquisa e à inovação. Essa rede evolui, cresce, se retroalimenta; ela é um dos grandes produtos dessa história, especialmente em um País onde é ainda tão baixo o grau de cooperação entre empresas. Com isso, de fato, criou-se nesse subsistema um espaço rico e dinâmico que certamente contribuiu (embora, obviamente, o processo seja mais complexo) para que o Brasil tenha hoje a siderurgia mais competitiva do mundo. A siderurgia brasileira tem um problema de escala, representa apenas 2,7% da produção mundial. Falta-lhe robustez para apostas mais ambiciosas. Mas, tecnologicamente, onde entra, bate freqüentemente seus rivais.

Para darmos um pouco mais de visibilidade à contribuição desse Programa para a inovação tecnológica, vamos examinar um caso concreto. O desenvolvimento dos aços que apresentam aumento da resistência mecânica na secagem da pintura (*bake-hardenability*) pode fornecer um exemplo.

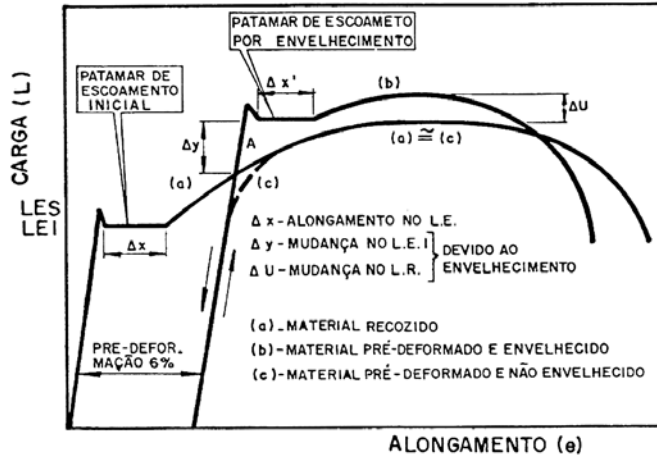
No final do século XX a indústria siderúrgica japonesa introduziu, com grande sucesso, chapas de aço para a indústria automobilística que apresentavam propriedades singulares. Eram muito macias quando entregues ao fabricante, que podia mais facilmente dar à chapa a forma desejada, mas apresentavam forte aumento da resistência mecânica na operação de secagem da pintura da peça acabada (*bake hardening*). O emprego desse material em painéis externos dos veículos permitiu a utilização de chapas mais finas, mais facilmente trabalhadas e mais resistentes no produto final. Entre outras vantagens, permitem redução de peso dos veículos e conseqüente economia de combustível, reduzindo também assim o impacto sobre o ambiente. Esse material teve grande sucesso, o que motivou empresas brasileiras a tentarem comprar sua tecnologia de fabricação. Mas os japoneses, considerando estratégica essa tecnologia, se recusaram a vendê-la.

Histórias desse tipo são conhecidas, e estão mesmo na origem da criação da ANPEI.¹ Essa experiência se repetiu em diferentes domínios e reafirmou o fato de que a tecnologia não pode ser considerada como uma mercadoria de supermercado, disponível para qualquer um que se disponha a comprá-la.

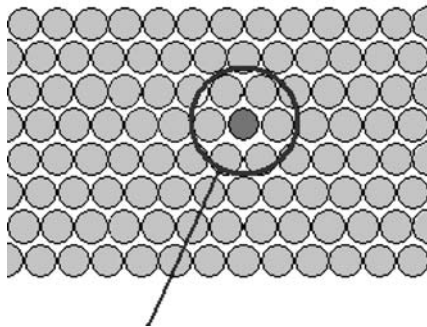
Dentro de nosso programa com a Usiminas, nós tínhamos encontros periódicos de acompanhamento e avaliação. Quando este problema foi trazido, nós nos dispusemos a abordá-lo no quadro de uma tese. Nós conhecíamos o princípio físico em que esse comportamento se baseia e tínhamos uma linha de pesquisa que trabalhava nesse campo.

Materiais susceptíveis de manifestarem esse fenômeno apresentam um comportamento específico quando são deformados. Como todo material, sua resistência aumenta com a deformação, é necessário aplicar um esforço crescente para deformá-lo. Mas, nesse caso, se interrompermos a deformação por certo tempo, quando se retoma o processo constata-se que, durante o repouso, ocorreu um aumento adicional da resistência. Este fenômeno é chamado “envelhecimento após deformação” (*strain aging*).

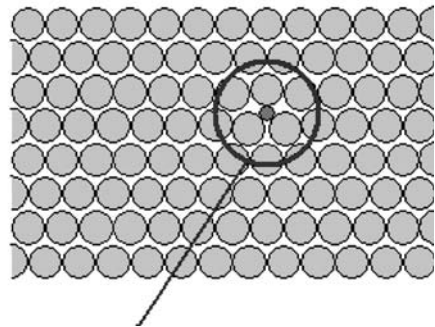
¹ Associação Nacional de Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia das Empresas Inovadoras.



A origem do “envelhecimento” está ligada ao arranjo interno da matéria e à perturbação que ali podem introduzir elementos estranhos adicionados ao material. Dentro de um objeto metálico (uma chapa, por exemplo), o arranjo de átomos é marcado por uma obsessiva monotonia. Há uma regularidade rigorosa, que se estende ao longo de todo o material. A introdução de um átomo estranho nesse arranjo tem um efeito perturbador.



Substitutional solute

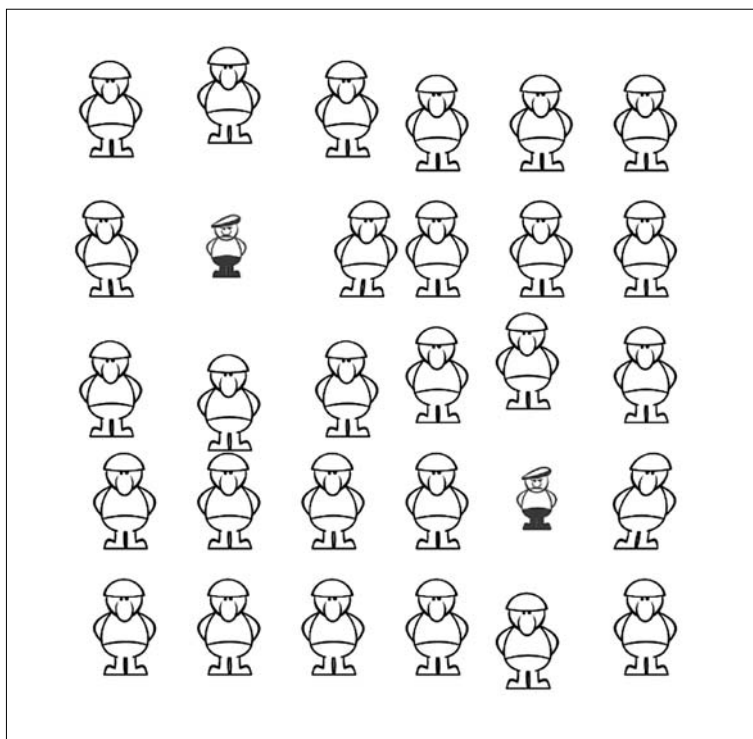


Interstitial solute

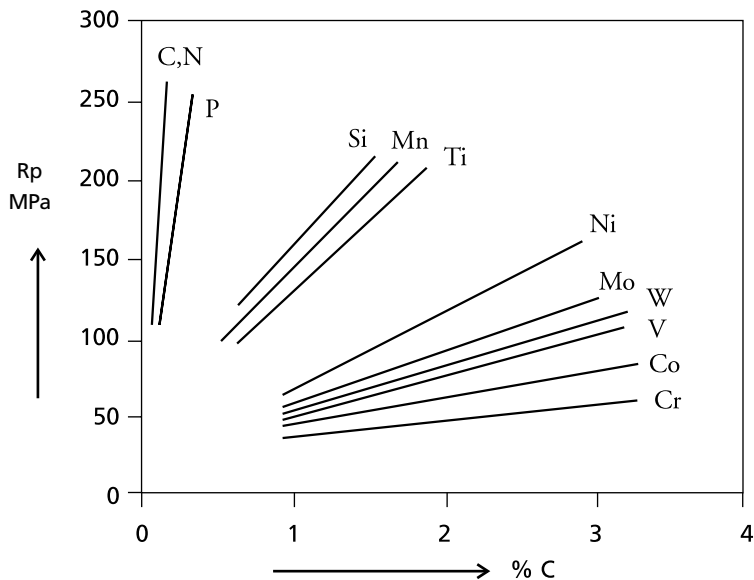
O átomo estranho pode tentar substituir um átomo da estrutura ou, se for muito pequeno, procurar se alojar nos interstícios entre os átomos dessa estrutura. A reação do metal não é bem de xenofobia, mas de *neofobia* [não

é reação ao estrangeiro, mas é uma reação ao novo]. Os átomos da estrutura estranham a presença desse elemento e não o recebem muito bem. Olham com certa desconfiança o átomo que está chegando.

Sendo mal recebido, o átomo estranho reage e tenta criar espaço afastando os átomos que compõem a estrutura.



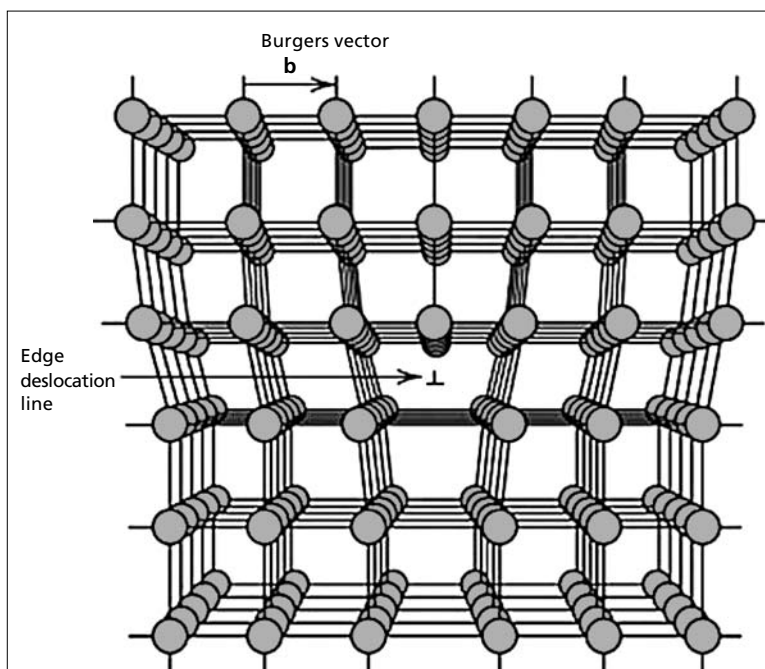
A estrutura, assim perturbada, acumula campos de tensões internas geradas pela presença do intruso e fica mais resistente, mais difícil de deformar. No aço, cuja estrutura é composta basicamente pelos átomos de ferro, os elementos externos que podem gerar esse tipo de perturbação, átomos pequenos e muito diferentes dos átomos do ferro que estão na malha, são principalmente o carbono e o nitrogênio.



Eventualmente, oxigênio, boro e fósforo podem ter também algum papel. A reação dos átomos de ferro à presença deles é muito viva. Existe um grupo de compromisso, composto por elementos como silício, manganês, titânio; incomodam um pouco, mas podem ser acolhidos, em pequena quantidade, pela rede de ferro. Existe finalmente um grupo de elementos, em que os átomos são mais semelhantes ao ferro, que têm uma convivência mais pacífica com a estrutura de ferro: são elementos como níquel, molibdênio, tungstênio, vanádio, cobalto e cromo. O cromo é o mais semelhante ao ferro e é aquele que é mais bem recebido; ele chega à rede com certa familiaridade: “olha, sou um pouquinho diferente, mas pouca coisa.” Vai se encaixando, sem maiores problemas. Voltando aos grandes perturbadores, como carbono e nitrogênio, onde a diferença com o ferro é muito grande, o material só consegue absorver deles uma pequena quantidade. Não adianta querer colocar mais carbono ou nitrogênio ali dentro; se você forçar você explode a rede. Então, qual é o segredo no caso da *bake-hardening*?

Trata-se de aproveitar algumas sutilezas. É que, dentro do material, a monótona regularidade de distribuição dos átomos de vez em quando é quebrada. Numa injustificável recaída aristotélica, resolvemos chamar essa quebra de regularidade de *defeito*. É uma injustiça. Porque esses chamados *defeitos* dão

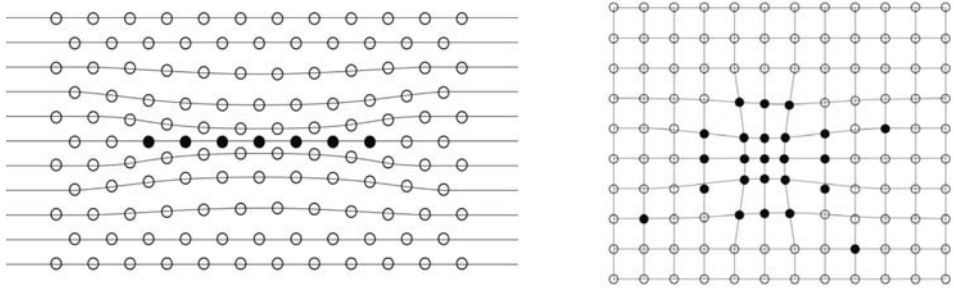
ao material suas características mais atraentes: a capacidade de mudar de forma, de se transformar, a própria cor. A existência de locais onde há um *defeito*, uma quebra da regularidade cristalina, pode facilitar a acomodação do átomo estranho. Como as coisas já estão um pouco fora do lugar, a perturbação trazida pelo intruso será menos notada.



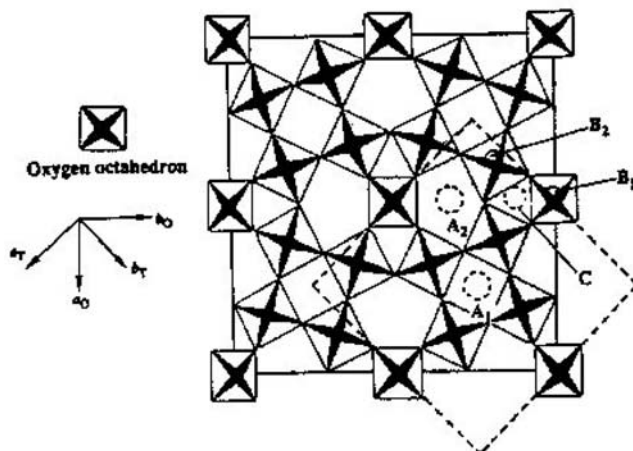
Ou então, se ele não encontra individualmente um bom defeito onde se alojar, pode se associar a outros átomos semelhantes a ele, rejeitados como ele, e se concentrarem todos em um espaço isolado. Uma espécie de confinamento, algo como um gueto. Na redondeza haverá um pouco de má vontade, alguma distorção, mas eles ficam ali quietinhos, no seu canto, e o resto da estrutura fica em paz. Estabelece-se uma espécie de protocolo de não agressão recíproca.

Esta região de confinamento pode ser mais achatada ou ser um pequeno volume. O que conta é que, isolados nessas “reservas”, a perturbação introduzida pelos átomos forasteiros fica também confinada a um espaço restrito.

Como se faz então para produzir o efeito de endurecimento tardio chamado *bake-hardenability*?



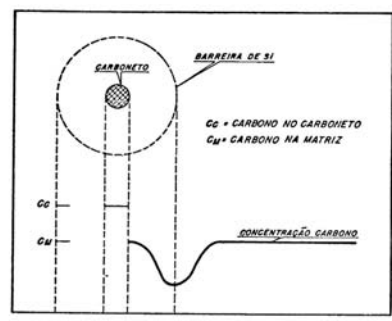
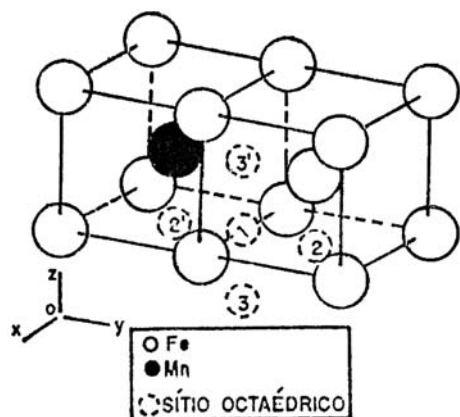
O segredo consiste em escolher uma composição química adequada, isto é, escolher os “bons” átomos de adição, de tal forma que: 1) eles possam ser isolados, durante a fabricação da chapa, permitindo que esta chapa seja originalmente muito macia e possa assumir a forma que o fabricante quiser lhe conferir; 2) já na peça pronta, possam ser liberados durante um ciclo térmico na secagem da pintura, quando se espalham, perturbam fortemente a estrutura, em muitos pontos, e conferem alta resistência ao material. Bom, esse é um segredo geral.



Examinando um pouco mais os detalhes, vamos ver que todos esses arranjos atômicos são complexos. Isto é, além dos átomos de ferro, dominantes na estrutura, e dos átomos de carbono e de nitrogênio, que serão a chave do endurecimento, o aço conterà sempre, como herança de sua história, outros elementos residuais, como silício, manganês, alumínio, fósforo... Além, é claro, de elementos que possam ser deliberadamente adicionados.

Esse alto grau de complexidade, que é em larga medida inevitável, agrega alguns problemas, mas também participa das soluções. Um elemento como o manganês pode desempenhar um papel conciliador. O tipo de deformação que introduz na estrutura do ferro cria, próximo dele, um espaço acolhedor para o átomo de carbono que chega. Já o silício tem efeito oposto. Opera como o gladiador com seu escudo, criando uma barreira que impede a aproximação dos átomos de carbono, e tenta afastá-los, podendo dirigir seu fluxo em outra direção.

Esta questão apresenta, além da dimensão tecnológica, um enorme interesse científico. Podemos fazer modelos desses diversos fenômenos.



Podemos calcular as tensões geradas pelos diferentes tipos de defeitos e ver como se propagam. Podemos calcular as deformações introduzidas pelos átomos estranhos e sua distribuição espacial.

$$\sigma \approx \frac{\mu b}{2\pi r}$$

$$\epsilon^C = \begin{bmatrix} 0,38 & 0 & 0 \\ 0 & -0,044 & 0 \\ 0 & 0 & -0,044 \end{bmatrix}$$

$$\epsilon^N = \begin{bmatrix} 0,39 & 0 & 0 \\ 0 & -0,025 & 0 \\ 0 & 0 & -0,025 \end{bmatrix}$$

Podemos determinar a energia de interação entre os defeitos da estrutura e esses átomos.

$$E_i = \sum \sigma_{ij}^d \epsilon_{ij}^s V$$

Essa energia de interação origina forças, que causam fluxos dos átomos.

$$F = -\Delta E_i = -\frac{\partial E_i}{\partial r}$$

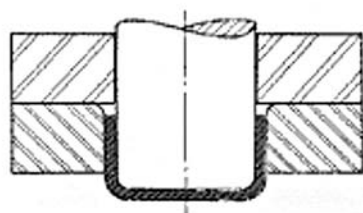
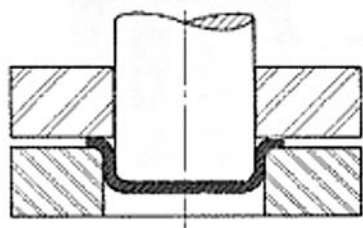
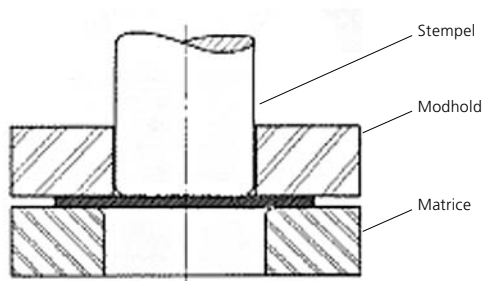
Esses fluxos produzem nuvens atômicas, gerando uma distribuição que se reflete nas propriedades finais do material.

$$v = -\frac{D}{kT} \left[\frac{\partial E_i}{\partial r} \right]$$

$$w = 1 - \exp \left[-\alpha \rho \left(\frac{ADt}{kT} \right)^{2/3} \right]$$

$$\Delta Y \propto \alpha n_o \left[\frac{ADt}{kT} \right]^{2/3}$$

O tipo de conformação da chapa acrescenta uma complexidade adicional. A estampagem, por exemplo, exige que as propriedades do material sejam anisotrópicas, isto é, sejam diferentes segundo a direção em que a chapa é solicitada.



Estampagem profunda: exige alto fluxo plástico no plano da chapa, ao mesmo tempo em que seja elevada a resistência ao fluxo na direção da espessura.

$$R = \frac{\varepsilon_{\text{largura}}}{\varepsilon_{\text{espessura}}} = \frac{\ln (w_o / w)}{\ln (h_o / h)}$$

Eis aí, finalmente, num caso concreto, os resultados de nossos cálculos. Trata-se do trabalho de tese de um engenheiro da Usiminas. Analisados os diferentes aspectos do problema, foram propostas seis soluções diferentes como teoricamente promissoras. Essas soluções responderiam à necessidade de um material inicialmente macio, capaz de apresentar forte endurecimento da peça pronta, depois da secagem da pintura. Essas são propostas resultantes do modelamento.

Aço	Identificação	C	Mn	P	SI	Al (s)	Al (ln)	D _T	N _T	S	Cr
01	cmsp	0,023	0,26	0,016	0,22	0,045	0,007	0,0032	0,0038	0,015	0,018
02	cmsP	0,026	0,18	0,079	0,29	0,067	0,010	0,0025	0,0046	0,007	<0,014
03	cmSp	0,025	0,20	0,006	0,59	0,052	0,007	0,0044	0,0063	0,008	0,014
04	cmSP	0,031	0,21	0,059	0,52	0,039	0,007	0,0035	0,0070	0,017	0,018
05	cMsp	0,027	0,41	0,017	0,23	0,046	0,006	0,0018	0,0046	0,016	0,017
06	Cmsp	0,050	0,25	0,020	0,22	0,051	0,005	0,0018	0,0037	0,024	0,018

Passamos aí para a observação efetiva do comportamento do material, para o teste de seu comportamento real [e *real* é tomado aqui no sentido radical da palavra, de *res* = coisa]. Submetendo-se o material experimental aos testes físicos foram obtidos, nesse caso, diferentes comportamentos. Todos eles se adequam ao desejado. Mas uma solução como a que se vê na quarta linha parece especialmente interessante. A chapa apresenta uma resistência inicial de 296 (a unidade é Megapascal, mas isso é aqui menos importante), que sobe para 420 ao final do processo. Esse é o ganho de resistência ao longo do processamento. Não iremos insistir nos detalhes, mas o fato é que, com essas soluções, conseguimos ganhos de resistência da ordem de 40%. O que significa que você pode fazer peças 40% mais leves, o que torna o automóvel mais leve, com economia de combustível e redução do impacto ambiental, além de conseguir diversos benefícios secundários.

Amostra	Propriedades mecânicas				Envelhecimento por deformação a 180°C x 20 min				Propriedades mecânicas após pré-deformação de 6% e tratamento a 180°C x 20 min.	
	LE MPa	LR MPa	AL ⁽¹⁾ (%)	R	Äy MPa	Äw MPa	ÄU MPa	Äy + Äw MPa	LE MPa	LR MPa
1 (cmsp)	226	318	48,7	1,72	34	45	16	79	305	334
2 (cmsP)	271	379	44,0	1,74	40	57	18	97	368	397
3 (cmSp)	256	364	46,0	1,70	41	59	19	100	356	383
4 (cmSP)	296	397	43,3	1,80	43	66	23	109	405	420
5 (cMsp)	234	345	47,0	1,62	27	50	2	77	311	347
6 (Cmsp)	242	347	47,7	1,60	27	38	7	65	307	354
7 – EEP	227	326	50,5	1,70	6	40	0	46	273	326

(1) BM=25mm

Esse caso concreto gerou, no plano acadêmico, a tese de João Francisco Batista Pereira (que fez um belíssimo trabalho). No plano tecnológico, produziu uma patente (“Chapa fina laminada a frio e processo para sua produção”). Depois dessa tese nós tivemos outra, introduzindo aperfeiçoamentos, com novas idéias. Finalmente, a própria usina, já por conta própria, desenvolveu a linha no seu centro de pesquisas. Esse material foi lançado inicialmente com o nome comercial *Usistar*. Hoje, incorporando evoluções subseqüentes, é fornecido em três modalidades: BH 180, BH 220 e BH 260.

Grau	Composição Química (% em peso)					
	C	Mn	Si	P	S	Al
USI-BH-180	< 0,04	< 0,50	< 0,60	< 0,060	< 0,030	> 0,020
USI-BH-220	< 0,06	< 0,60	< 0,80	< 0,080	< 0,030	> 0,020
USI-BH-260	< 0,08	< 0,70	< 0,80	< 0,100	< 0,030	> 0,020

A página da Usiminas registra: “composição química – valores garantidos”. Isso resulta de que soluções como essas exigem um controle muito preciso da composição. O resultado desejado só pode ser obtido com a presença, por exemplo, de 5 a 8 átomos de carbono dissolvidos em um milhão de átomos de ferro. Essas composições devem ser garantidas não mais em condições de laboratório, mas na linha de produção. De início houve certo ceticismo a respeito da possibilidade de consegui-lo nas toneladas produzidas industrialmente. Mas foi conseguido, com técnicas de gerenciamento, automatização e recursos computacionais excepcionais, enfim, controle mais rigoroso da qualidade. Para isso a usina se equipou, necessariamente, com tecnologias sofisticadas de análise, como microscopia Auger e espectroscopia de massa de íons secundários, até então privilégio de laboratórios científicos. Esta é uma razão que favorece a preparação (ou contratação) de pessoas com o nível de doutorado. São equipamentos que exigem, para a eficácia de utilização, um treinamento mais sofisticado, um domínio não só das questões práticas, mas também do universo teórico.

Só para registro histórico, eis aqui a patente que, como vocês sabem, é sempre registrada de uma forma meio criptográfica: “Trata a invenção de composição e processo de obtenção de chapa fina de aço laminada a frio com boas características de estampagem, que possibilita capacidade de envelhecer por deformação após tratamento térmico e conseqüente aumento de sua resistência. A chapa é produzida em equipamento tipo caixa de bobina fechada, possuindo teor de carbono dado pela equação $\%C = 3,0 \times 10^{-4} Tr - 0,18$ onde Tr é a temperatura de recozimento em graus C. Possui teores de fósforo e silício em peso dados pela desigualdade $0,1\% < (P+Si) < 0,6\%$ e teor de manganês menor ou igual a $0,4\%$ Si, sendo que a quantidade mínima deve satisfazer a relação $Mn/S = 10$. O alumínio máximo é $0,08\%$ e o mínimo deve ser tal a ser obedecida a relação $Al/N = 6$. O teor de cromo máximo é $0,05\%$ e o teor de nitrogênio e enxofre é dado por $(S+N) < 0,03\%$.” Esta redação é típica: de certa forma você revela e escamoteia ao mesmo tempo, operação, reconhecemos, de que até na academia a gente tem um certo treino.

Houve ainda uma coisa curiosa. A solução a que chegamos apresenta algumas propriedades especiais, dentre as quais a *dent resistance*: a chapa resiste à *indentação*. Alguém não fechou a porta direito e dá um solavanco na saída; a chapa absorve energia elasticamente e volta à forma original, não guarda marcas. Um pedregulho que bate, não deixa marcas. Ela tem uma resistência maior a esses riscos, além de outros benefícios menores. Nos Estados Unidos, que não dispunham desse produto, uma associação de diferentes empresas tentou desenvolver um similar. A solução proposta foi considerada excessivamente semelhante a nosso produto e foi questionada em juízo. Situações dessa natureza dão frequentemente origem a processos de propriedade intelectual, exigindo-se comprovação de que a nova solução não é apenas cópia da original.

Quando este Programa de Cooperação Universidade-Empresa completou dez anos, em 1983, foi submetida a uma avaliação muito interessante. Convencemos a ABM a incluir, em seu Congresso Anual, diversos painéis para discussão do Programa. A avaliação foi feita não só pelas empresas e pela universidade, mas também apoiada em *expertise* internacional, de alemães e americanos, principalmente, e de um grupo japonês. O resultado mostrava ganhos consideráveis. No plano financeiro registravam-se ganhos expressivos, sobretudo nas áreas que lidavam com matéria-prima e energia.

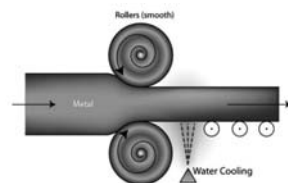
Havia outros ganhos, notadamente a rede cooperativa que se estabelecia entre os engenheiros de diferentes empresas que desenvolviam seus trabalhos na Pós-Graduação. Havia vários outros indicadores da relação orgânica que estabeleciam professores do curso e os pesquisadores da indústria. Registravam-se vários benefícios para o ensino de Graduação, como aqueles gerados por Programas que acoplavam Iniciação Científica e Estágio: durante o período letivo muitos alunos da graduação faziam iniciação científica junto a projetos desenvolvidos com as empresas. Nos estágios de férias esses alunos reencontravam seus parceiros empresariais, agora no ambiente industrial. Os ganhos eram evidentes, para os trabalhos de tese, para a iniciação científica e para a própria empresa, que recrutava em seguida muitos daqueles alunos.

Havia porém um insucesso perceptível. O ganho, em muitos casos, não conseguia induzir uma postura inovadora no grupo industrial, capaz de conferir sustentabilidade ao procedimento iniciado na pós-graduação. Isso foi para nós a origem de nosso envolvimento com a questão da Qualidade. A avaliação fora conduzida em 1983; no ano seguinte, 1984, dois de nós aproveitamos convites da Universidade de Tóquio e ficamos lá certo tempo. Foi assim que Vicente Falconi e eu entramos em contato com os mecanismos de cooperação universidade-empresa no Japão e, nessa ocasião, pudemos avaliar o papel ali desempenhado pelas estratégias da Qualidade Total. Havia um professor norte-americano, W. Edwards Deming, que tivera importância fundamental na criação dessa cultura no Japão. Era um personagem excepcional, como pudemos comprovar. Terminado nosso período na Universidade de Tóquio retornamos pelos Estados Unidos, onde fizemos o curso de Deming, na George Washington University. Foi assim que criamos, no retorno ao Brasil, em 1985, o Primeiro Programa Brasileiro de Qualidade. Esse Programa, organizado no âmbito da Fundação Christiano Ottoni, da Escola de Engenharia da UFMG, teve vida vegetativa até 1987, quando CSN, no Rio, e COSIPA, em SP, começaram a ter resultados encorajadores. A partir de 1990, com aquele processo atropelado de abertura da economia, o Programa da Qualidade explodiu. O sucesso foi tão grande que o Programa acabou ficando maior do que a própria Fundação Christiano Ottoni. Por isso, embora a Fundação tenha mantido atividades correlatas, a maior parte dele se desvinculou da universidade e se estabeleceu em uma instituição própria. Hoje essa instituição, conduzida por

Vicente Falconi e José Martins de Godoy, conta com centenas de consultores e trabalha em dezenas de países. O que exemplifica as variadas emanções de aventuras dessa natureza.

Para povoarmos um pouco mais o universo tecnológico diretamente associado à Pós-Graduação queria, rapidamente, passar por alguns outros exemplos. A tese de Hélio Figueiredo Motta Filho foi também uma experiência maravilhosa. Ele era engenheiro da USIMEC na época, quando o Brasil estava introduzindo o que se chama *lingotamento contínuo*, operação integrada e contínua da produção: você coloca o minério na entrada e sai com o produto na outra extremidade do processo. As condições de trabalho, quando a placa de aço sai do forno, são muito duras: os primeiros rolos de laminação entram em contato com a chapa em uma temperatura superior a 1.000°C e são simultaneamente resfriados, na parte inferior, a 0°C. Em poucos segundos ele passa de 1.000 a zero graus, volta imediatamente a 1.000 graus e assim por diante. Essas condições extremas faziam com que muitos dos primeiros rolos feitos no Brasil rapidamente explodissem. A tese de Helio permitiu a descoberta de uma solução. Foi uma solução muito elegante, baseada em uma evolução gradativa da estrutura do material do rolo, entre a superfície e o centro. Haroldo Barradas fez um trabalho muito elegante também, no desenvolvimento de materiais resistentes ao desgaste, com a adição de nióbio, metal cujas reservas mundiais estão fortemente concentradas no Brasil. Foi um trabalho financiado no quadro de um Programa com a CBMM.

Hélio Figueiredo Motta Filho
Análise do material de rolos
de lingotamento contínuo
03/07/1981
USIMEC

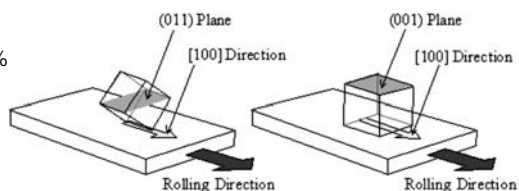


Haroldo Almeida Barradas
Substituição de molibdênio por nióbio em ferros
fundidos brancos de alta resistência à abrasão
24/02/1984
UFAL / CBMM

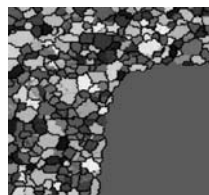


O desenvolvimento de aços elétricos e magnéticos foi um belo projeto, que mobilizou diferentes linhas de pesquisa do grupo, porque se trata de materiais de grande complexidade. A dificuldade essencial vem do fato de que, dentro de uma chapa, encontra-se uma infinidade de blocos (chamados “grãos”). Em cada grão os átomos se organizam com grande regularidade. Mas não existe, normalmente, nenhuma relação entre um grão e outro, o que faz que os átomos estejam efetivamente espalhados em todas as direções. Para que apresentem boas propriedades elétricas e magnéticas, contudo, o oposto é que seria desejável, isto é, ter todos os átomos da chapa alinhados numa mesma direção. O problema, portanto, é o de convencê-los a se alinharem. O que não é fácil. É próprio dos átomos apresentarem comportamentos individualizados; cada um funciona do seu jeito. É preciso combinar com eles uma forma coletiva de operação, convencê-los a agir de forma cooperativa. Em uma chapa é grossa é impossível; eles não vão ouvir o que você está falando. Mas à medida que se lida com uma chapa mais fininha eles começam a ficar mais sensíveis ao que se passa no mundo exterior. O átomo, no meio da chapa, está entre amigos, opera do jeito que quer. Mas se está próximo à superfície, e vê o mundo estranho que o espera lá fora, se dá conta que esse mundo é muito ameaçador. Então, qual é a negociação? Trata-se de criar um ambiente externo acolhedor, que os convide a se organizarem, todos, numa orientação única, a melhor direção para que usufruam das vantagens daquele ambiente. Isso deve ocorrer no estado sólido, onde os movimentos são muito limitados. Se efetivamente se tornarem todos organizados da mesma maneira, a transmissão de energia elétrica se fará praticamente sem perdas. Neste caso específico, a usina havia comprado tecnologia no exterior que, definitivamente, não funcionou aqui. Nosso trabalho consistiu em reinventar a tecnologia, com soluções originais para o ordenamento dos átomos. Foi um trabalho lindo, o problema foi resolvido basicamente em duas dissertações de mestrado.

Paulo Roberto Magalhães Bastos
Distribuição de sulfeto no aço silício 3%
via laminação Steckel
28/09/1984
Acesita



Paulo Ricardo C. de Andrade
Determinação da bitola intermediária ótima
para o aço silício “Grão Orientado”
12/11/1984
Acesita

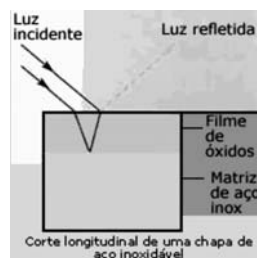
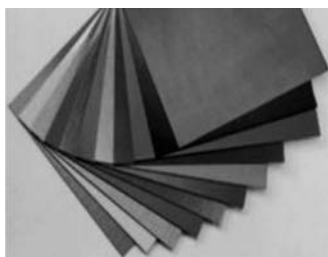


Não vale a pena nos alongarmos sobre todos os trabalhos desenvolvidos dessa maneira. Mas eu gostaria de observar que, às vezes, essa cultura se irradia, cria um ambiente de muitas ressonâncias. Tivemos, por exemplo, o caso de um menino que veio do SENAI, trabalhou em um tema com apoio da Belgo-Mineira, não entrando, portanto, na contabilidade dos engenheiros das empresas, mas se beneficiou dessa cultura. Outra menina era bolsista do CNPq, mas trabalhou também em tema de interesse da Belgo. A empresa colocou à sua disposição diversos materiais e forneceu-lhe apoio para boa parte do trabalho experimental. Ela também não entra na relação dos alunos de empresas, mas, como no caso anterior, tirou proveito dessa cultura.

Cristina Godoy, em sua tese de doutorado, trabalhou em um grande projeto sobre o comportamento dos materiais expostos ao etanol. Foi uma tese desenvolvida no ambiente acadêmico. Tratava-se, no caso, de desenvolvimento de ligas inoxidáveis potencialmente úteis para os motores a etanol. Em sua tese foram examinadas, sob o prisma acadêmico, diversas propriedades. Mas a Usiminas interessou-se por algumas das características vistas nos testes, notadamente sua excepcional resistência ao desgaste. Por isso, um jovem engenheiro da Usiminas, inspirado por essa tese acadêmica, explorou as propriedades da liga já no contexto do desenvolvimento industrial.

Na tese de Margareth Andrade trabalhamos com metais que apresentam fenômenos de memória. Em condições adequadas esse metal é capaz de se lembrar da forma que teve em algum momento de sua história. Estudamos primeiro esse sistema do ponto de vista puramente acadêmico. Hoje este material é utilizado em iluminação pública de Belo Horizonte. Sensível à luminosidade, quando o dia vai escurecendo ele se sente estimulado a recuperar uma forma anterior, seu movimento liga um circuito que acende a iluminação. Se por acaso o tempo se fecha, mesmo durante o dia, a iluminação é acionada; se a claridade retorna, o circuito automaticamente se desliga.

Como último exemplo, vejamos o desenvolvimento do aço inoxidável colorido. O aço inoxidável tem muitas qualidades. Apresenta boa resistência mecânica, é imune à agressão do meio, é confiável, não contamina o ambiente – uma série de coisas. Mas tem um grande defeito: aquele ar frio e calculista, aquela aparência hospitalar. Para preservar o que tem de bom, mas em um invólucro mais atraente, desenvolvemos uma técnica capaz de lhe conferir toda uma gama de cores. Não é a única solução existente no mundo, mas tem grandes vantagens sobre as outras. Os ingleses, por exemplo, conseguiram produzi-lo, mas utilizando um método muito poluente, pois trabalham com ácido sulfúrico. Nós utilizamos um processo eletroquímico, mais elegante, e não-agressivo ambientalmente. Este trabalho gerou uma nova empresa, que se chama *Inoxcolor*.



O empresário montou essa empresa na região industrial de Belo Horizonte e contratou os estudantes que estavam fazendo pós-graduação nesse tema. O resultado é que o trabalho continua em andamento, gerando novas propriedades interessantes. A primeira série, por exemplo, gerava materiais muito brilhantes; arquitetos, que começaram a utilizar o inox colorido, pediram cores mais neutras, para ambientes mais acolhedores. Esta solução está sendo desenvolvida por engenharia de superfície, antes da coloração final, para produzir as nuances desejadas.

Antes de fecharmos esse rápido percurso deve-se enfatizar que ele é muito lacunar. Deixa de lado muita coisa, como as incertezas, a dificuldade das escolhas, as manifestações de resistência a este projeto, os esforços de persuasão e de convencimento, as ricas flutuações que ponteiavam esse caminho. Como começou nos anos 1970, houve naturalmente muitas incompreensões.

Os avaliadores da Capes, por exemplo, chegavam muitas vezes com uma postura resistente e até mesmo acusatória. Era imprescindível apresentar uma produção acadêmica inatacável, pelos moldes clássicos, para que o Curso pudesse manter sua boa avaliação. Assim, mesmo enfrentando certa desconfiança, o mestrado e o doutorado sempre foram classificados no nível A. Hoje o Curso é avaliado como de nível 7, o nível máximo, como sabemos, atribuído a um curso no País. Este reconhecimento, apesar da atitude reticente dos avaliadores quanto à cooperação com a indústria, comprova que a interação com as empresas, longe de ter atrapalhado o projeto acadêmico, foi em realidade muito benéfica.

Deve-se ressaltar que esta interação foi construída a partir da lógica da universidade, no sentido de que trabalhamos com as empresas dentro de linhas de pesquisa onde tínhamos competência e que nos interessavam. Os benefícios para as empresas são claros. Ao mesmo tempo, do ponto de vista acadêmico, são também muito significativos. Problemas científicos identificados no desenvolvimento tecnológico abriram, por exemplo, possibilidades inéditas de publicação nas revistas internacionais mais prestigiosas. No caso apresentado da *bake hardenability* a academia lida usualmente com situações mais simples, como um único elemento de base e um único elemento estranho adicionado. Por necessidade, fomos obrigados a trabalhar com situações muito mais complexas, tanto na base contendo vários elementos, quanto na presença simultânea de diversos tipos de átomos estranhos adicionados. Isso nos conduziu a modelamentos mais sofisticados, que geraram *papers* inéditos, acolhidos por isso pelas revistas mais exigentes. As empresas, usualmente, não colocavam empecilho à publicação. Pelo contrário. Às vezes havia necessidade de se diferir um pouco a divulgação, mas todas elas manifestavam interesse em ter seus profissionais publicando conjuntamente com professores universitários.

A aventura real continha ainda mais ingredientes e era mais divertida do que relatei. Por exemplo, fiz trabalhos interessantes com uma fábrica de vasouras. Para chegar lá era preciso passar por uma estrada toda esburacada e, da primeira vez, tive que pular o muro pra poder entrar. Em Cotia, São Paulo, cheguei a dar aulas no refeitório de uma indústria, único espaço disponível; o ritmo das aulas era ritmado pelo das caçarolas na preparação do almoço...

Uma experiência riquíssima de Brasil foi proporcionada por uma empresa cujas unidades de produção se distribuíam por todo o País. A implantação de uma nova tecnologia nessas unidades teve que levar em conta fortemente a cultura local. A tecnologia em questão era, em princípio, a mesma; na realidade, tanto o processo quanto o resultado foram sensivelmente diferentes, segundo a região. Essas experiências enriquecem a vida profissional. Para o professor é ótimo, traz uma riqueza de informações e exemplos que contribuem para a vivacidade das aulas. Do ponto de vista da pesquisa há muitos desdobramentos ricos e uma fonte permanente de idéias.

Quais são algumas lições gerais dessa experiência? A primeira delas é que o modelo só funciona se há postura inovadora por parte da empresa. No início isso exigiu, da parte da universidade, um grande esforço de sedução. Mas o quadro está mudando rapidamente. É visível o crescimento da demanda, nos últimos anos, por iniciativa das próprias empresas.

Em segundo lugar, o grupo universitário deve ter alta qualidade acadêmica. Não apenas pela competência requerida, mas ainda para ter segurança em escolher o que quer, o que não quer. Além disso o processo precisa ser institucionalizado. No nosso caso, passa pela Câmara de Departamento, que organiza as agendas. Isso significa que alguns dos docentes podem eventualmente se dedicar mais à cooperação, durante certo tempo, montando por exemplo uma nova iniciativa, para depois reduzirem sua participação ou se concentrarem nas tarefas acadêmicas usuais. Mantém-se, na média, certo equilíbrio. Mas é essencial, na nossa experiência, que seja institucionalizado e tenha controle acadêmico.

O relacionamento também exige cuidados, como todo relacionamento. É preciso paciência, é preciso aprender a diferença entre as instituições, ter clareza quanto aos objetivos distintos. Como em qualquer parceria, é preciso que todos os parceiros, cada um à sua maneira, ganhem com a associação. O diálogo exige uma linguagem comum, uma cultura comum; os cursos de extensão, mostraram nisso um valor inestimável. Esses cursos fornecem um espaço de convivência, descoberta mútua, desenvolvimento de vocabulário comum e formas de abordagem compatíveis; são fóruns de construção de entendimento.

É importante experimentar modelos diferentes. Temos pouca experiência

de colaboração, é bobagem pensar que já sabemos como fazer. A experiência acumulada tem uma dimensão experimental, é bom exercitar diferentes formas de trabalho.

A pós-graduação fornece instrumentos excepcionais para a colaboração, e é muito enriquecida quando envolvemos estruturadamente alunos de graduação. Núcleos contendo alunos de doutorado, mestrado e iniciação científica, conferem uma vitalidade extraordinária a essa cultura. A melhor forma que tivemos de organizar estágios inteligentes para os alunos foi acoplar iniciação científica a temas de pesquisa de engenheiros das empresas, que depois orientavam os estágios da meninada na indústria.

Vale a pena mencionar a singularidade essencial da cultura acadêmica. Uma das empresas, entusiasmada com os resultados, mas lamentando não poder enviar muitos engenheiros ao mesmo tempo à universidade, insistiu em contratar parte das disciplinas de pós-graduação dentro da usina. Advertimos que não funcionaria, mas concordamos em tentar a experiência. Foi útil em alguns aspectos, mas não funcionou como pós-graduação. É claro. O ambiente acadêmico não se exporta. Não se trata de uma questão apenas de conteúdo. O comportamento dos engenheiros da empresa, ao vir para a universidade, é naturalmente muito diferente daquele que têm na usina. Além disso, mergulham na cultura da pós-graduação junto com todos os estudantes que estão ali, têm colegas oriundos da chamada *demanda social* e engenheiros que vêm de outras empresas. Não apenas fazem certas disciplinas, mas vivem a totalidade do ambiente acadêmico, com seus seminários, com seu *ethos*, com sua irreverência. E isso não se transporta. Nossa experiência mostrou cabalmente que, para funcionar, o processo exigia inserção concreta na cultura acadêmica.

Com relação à produção de tecnologia, aprendemos rapidamente as virtudes da *co-produção* e as falácias da simples *encomenda* de um produto. Quando se recebe a encomenda e se entrega mais tarde o produto, o risco é muito alto de que a demanda não tenha sido formulada com precisão ou que não se tenha entendido bem o que a empresa desejava; o detalhamento dessa demanda cria um diálogo entre as duas instituições, onde a estruturação das informações necessárias permite muitas vezes à empresa organizar melhor o fluxo de suas operações e o gerenciamento de seu desenvolvimento tecnológico;

além disso, a elaboração e o aperfeiçoamento de uma tecnologia constituem processos dinâmicos, que exigem freqüentes redirecionamentos.

Perdoem-me lembrar aqui, esquematicamente, as diferenças entre o monólogo e o diálogo, pois o início das discussões tecnológicas corresponde muitas vezes à simples coexistência de dois monólogos, enquanto a co-produção de tecnologia exige de fato o lento e persistente aprendizado do diálogo.

O **monólogo** tem como características a ênfase no locutor; poucas referências à situação alocutiva; quadro de referência único; freqüência de formas afirmativas.

Contrariamente, o **diálogo** é caracterizado pela ênfase no interlocutor; há múltiplas referências à situação alocutiva e são múltiplos os quadros de referência; são ainda freqüentes as formas interrogativas.

Nossa experiência confirmou esta verdade simples de que, fechados em nós mesmos, o risco do monólogo é grande, estamos entre pares, falamos todos a mesma língua, o quadro de referência é o mesmo para todos. O diálogo com a empresa exigiu um esforço de ênfase no interlocutor, um empenho na decodificação. Era preciso se colocar no lugar do interlocutor para tentar apreender o que estava sendo dito. O monólogo tem poucas referências à situação alocutiva, tacitamente sabemos do que se trata, mas a busca reiterada de referências obriga a um exercício fundamental de explicitação que, para nós, foi constitutivo de toda a história.

É por isso que ela me lembra o comentário de João de Régis, na comemoração do centenário de Canudos. Filho de sobreviventes daquela guerra, então com seus mais de noventa anos, João de Régis afirma com toda certeza: não era para ter briga de Canudos com a República. O que eles estavam querendo era mais ou menos a mesma coisa. Só faltou uma conversa, garante João de Régis.

É possível. Pelo menos, essa é uma dimensão fundamental de nossa experiência de interação com as empresas. Mesmo apresentada de forma sumária, meio telegráfica, ela talvez permita perceber o que contém de aventura humana. Com seus riscos, suas alegrias e decepções, com os cuidados permanentes que exige, é um aprendizado permanente do diálogo e uma aventura de grande riqueza.

Incomoda-me a visão, às vezes apresentada, das relações entre empresa e

universidade como a luta de um feroz e monolítico lobo contra uma indefesa e cândida chapeuzinho vermelho. Nem se trata de uma luta, nem o lobo é monolítico, nem chapeuzinho é tão inocente. Não é por acaso que a universidade é uma das mais antigas instituições hoje existentes, enquanto muitas das instituições suas coetâneas foram varridas pelo tempo. A universidade encontrou sua vitalidade em suas metamorfoses. A pesquisa apareceu como ameaça à universidade, a universidade reagiu contra ela, mas acabou por absorvê-la, metabolizou-a e a transformou num dos eixos do projeto acadêmico. A mesma coisa se verificou com relação à extensão. Ao surgir, no final do século XIX, em Oxford, Londres e Cambridge, enfrentou grandes resistências. Seu resgate se deu nos Estados Unidos, quando, por meio da extensão, a universidade se associou ao mundo externo para resolver os problemas da agricultura americana. Incorporada pelo projeto acadêmico, tornou-se também uma das formas essenciais de atuação da instituição universitária.

Vivemos hoje, acredito, um processo semelhante na invenção de formas da universidade participar do esforço coletivo de inovação. A interação entre a universidade e a empresa é um dos pilares desse esforço. Ela é interessante quando, ao mesmo tempo, gera bons produtos tecnológicos e fortalece o projeto acadêmico. Acredito que este é o sentido maior da história que rapidamente aqui evoquei, colocando em cena o Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais e as empresas de mineração e de metalurgia de nosso País.