

O PAPEL DA PESQUISA NA INDÚSTRIA METALÚRGICA ⁽¹⁾

ROBERT FRANKLIN MEHL ⁽²⁾



É surpreendente para mim, e sem dúvida para muitos dos senhores também, que já se tenham passado vinte anos daquela “Primeira Reunião” da Associação Brasileira de Metais. Desde aquele dia memorável, muita coisa aconteceu: a ABM certamente prosperou, a indústria metalúrgica do Brasil cresceu bastante e o cenário mundial foi muito modificado; a guerra mundial terminou, outras pequenas guerras vieram e terminaram; as raças se multiplicaram e até mesmo o número de países multiplicou. O mundo está ativo e movimentado.

Apareceu a energia nuclear e têm havido outros avanços quase miraculosos na ciência — o desenvolvimento do transistor e do “laser”, a descoberta das tão misteriosas “quase-estrelas”. A engenharia produziu suas maravilhas com satélites terrestres artificiais e novos e notáveis produtos e processos. O campo específico desta Associação, o da metalurgia, também tem caminhado celeremente: — a produção de aço foi revolucionada; a automação apareceu; novas ligas notáveis foram elaboradas; o microscópio eletrônico tornou possível a observação de defeitos em metais nas dimensões de somente alguns átomos; no campo da microscopia por emissão iônica, é possível perceber os próprios átomos dos cristais. Estes são alguns dos espetaculares exemplos; a estes deve-se certamente adicionar um grande número de outros

(1) XIX Conferência Científica da Associação Brasileira de Metais, comemorativa do 20.º aniversário de sua fundação. XIX Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1964. Tradução do eng. Sérgio Augusto de Souza.

(2) Sócio Honorário e Medalha de Ouro da ABM; Doutor «honoris causa» pela Universidade de São Paulo; antigo Chefe do Departamento de Metalurgia do Carnegie Institute of Technology, USA.

pequenos avanços, alguns individualmente modestos mas em seu todo acelerando em muito o avanço da ciência e da tecnologia nestes anos.

Tudo isso é o resultado da pesquisa. Estamos seguramente numa nova e grande era da pesquisa. Com toda essa reunião de acontecimentos, ocorreu-me que a ocasião desta conferência poderia me dar oportunidade de reunir, tanto quanto possível, elementos sobre as pesquisas e de como elas fazem parte da indústria metalúrgica. Daí, o meu título: "O Papel da Pesquisa na Indústria Metalúrgica". O contrôlo industrial da pesquisa ainda não está bem formalizado; em muitas indústrias seu papel não está ainda claro e talvez isto ocorra especialmente em nosso próprio campo, o da Metalurgia. Não me proporei em fornecer esta formalização; mas talvez seja do interesse de todos descrever alguns aspectos desta curiosa e relativamente nova atividade, e como ela aparece no mundo. Alguém deve tomar esta incumbência, pois a indústria metalúrgica é a mais básica de todas, devido à dependência econômica de cada país sobre ela. Posso tentar?

A INDÚSTRIA METALÚRGICA

A indústria metalúrgica é uma atividade muito complexa: é uma reunião de trabalhos de venda, compra, contabilidade, análise do mercado, trabalho pessoal; de engenharia mecânica, elétrica, química, civil e metalúrgica. A pesquisa metalúrgica contribui a tudo isso. Falar (ou escrever) de todas as atividades da indústria metalúrgica, especialmente porque ela varia tão largamente de país a país, seria escrever tratado ultra-volumoso. Cada uma destas atividades tem agora um aspecto de pesquisa, como por exemplo, a engenharia mecânica, com sua maquinaria de conformação e fornos de tratamento térmico; a engenharia química, com a utilização de subprodutos, e o destino a ser dado aos líquidos de decapagem; a engenharia civil, devendo pesquisar os sólos ou as tensões de estruturas; a engenharia metalúrgica, com os processos e produtos. Estas observações são óbvias e tediosas; são apenas introdutórias, para dizer que cada metalurgista deve conhecer sua parte no cenário geral das pesquisas e onde pode ser mais eficiente trabalhando com todos os demais engenheiros bem como junto aos não-engenheiros e não-técnicos e certamente aliado à administração da indústria.

Indústria não é instituição de caridade; seu primeiro dever é a sobrevivência e, numa economia independente, proporcionar lucros, devendo a pesquisa ministrar tudo isso. É nestes termos que trataremos a pesquisa na metalurgia e na indústria metalúrgica.

Antes de tratarmos disso, entretanto, penso ser útil verificar como a pesquisa na ciência e na engenharia ocorre nos dias de

hoje, pois tôda ela está fortemente inter-relacionada e é sempre difícil traçar limites. Levei alguns anos estudando êste problema, eu diria que de Toronto a São Paulo e de Los Angeles a Moscou; tentarei nesta conferência distinguir o que aprendi e no que vim a acreditar.

ORGANIZAÇÃO E AUXÍLIO À PESQUISA EM GERAL

É verdadeiramente surpreendente como é a pesquisa tão diferentemente organizada e apoiada nos diferentes países do mundo livre; há complexidades mesmo dentro de um país. Auxílios financeiros vêm de muitas fontes. Anos atrás vinham das universidades, de organizações caritativas e, em pequena escala, da indústria. Estas fontes ainda existem; a indústria ajuda agora muito mais e de muitas maneiras, mas o govêrno tornou-se o financiador mais importante. A pesquisa é realizada por uma grande multiplicidade de instituições: laboratórios de pesquisa industrial, laboratórios do govêrno, institutos privados e universidades. Estas simples questões envolvem uma complexidade muito grande. Nos Estados Unidos, cêrca de 17,6 bilhões de dólares por ano são gastos em pesquisa e desenvolvimento, dos quais mais de um bilhão auxilia as pesquisas básicas, o restante sendo aplicado em pesquisa e desenvolvimento. Existem aproximadamente 2.000 colégios e universidades, muitos dos quais, certamente os mais famosos, realizam pesquisas; há 6.000 laboratórios de pesquisas aplicadas e básicas, como por exemplo os Laboratórios Bell ("*Bell Laboratories*") com mais de 11.000 homens, a *DuPont* com 7.000 e a "*United States Steel Corporation*" com 1.500 (todos êsses dados são aproximados, mas essencialmente corretos). Veremos mais adiante qual a justificação que existe para um laboratório industrial se ocupar em pesquisas científicas de caráter básico, pelo menos nos países altamente industrializados. A despesa é enorme e continua aumentando; é estimada nos Estados Unidos, para 1969, em 34 bilhões de dólares, que fará com que a indústria de pesquisa seja uma das maiores na economia do país; note-se que em 1953 ela foi sômente de 3 bilhões de dólares.

O Reino Unido tem as seguintes fontes de fundos para a ciência: a "*University Grants Committee*", que auxilia a pesquisa e proporciona equipamentos às universidades; o *Department of Scientific and Industrial Research*, que contribui largamente com a ciência e engenharia; a "*Atomic Energy Authority*", mantendo grandes estabelecimentos de pesquisa, contribui com pesquisas sobre energia atômica como também em grande escala em campos relacionados, muitos dos quais de interesse dos metalurgistas como por exemplo, na "*Atomic Energy Commission*" dêste Instituto nos Estados Unidos. Associações cooperativas devotadas na maioria

à pesquisa aplicada, também efetuam de vez em quando pesquisa básica; laboratórios industriais também dão a contribuição a ambos os tipos de pesquisas. É estimado que o Reino Unido gasta correntemente mais de 1,3 bilhões de dólares no auxílio à pesquisa.

Na França, a organização difere: tôdas as universidades são auxiliadas pelo Estado (contrastando com os Estados Unidos, onde muitas das maiores e mais conhecidas universidades são de caráter privado) e estas têm sempre fundos para pesquisa; assim, existe o "*Centre Nationale de la Recherche Scientifique*" com um pouco mais que 60 milhões de dólares por ano disponíveis (em 1962); aí, também as organizações de pesquisa cooperativa industrial produzem alguma pesquisa básica. Também o *Commisariat Français a L'Energie Atomique*, no laboratório principal em Saclay, emprega cêrca de 10.000 homens e técnicos treinados; como os outros, produz na maior parte, pesquisa básica ou quase-básica.

A Alemanha Ocidental possui organizações complexas de auxílio, difíceis de se compreender. Como a República Unida ("*Die Bundesrepublik*") tem uma instituição que dá a maior parte de responsabilidade dos "trabalhos culturais" (que, felizmente, inclui também a ciência) para os Estados individuais, muito do auxílio financeiro para a pesquisa básica vem dêesses Estados (que gastam mais ou menos 600 milhões de dólares atualmente. No entanto, o Govêrno Federal gasta aproximadamente 300 milhões de dólares para os fins em questão. Portanto, as organizações quase governamentais, como por exemplo a "*Max-Planck-Gesellschaft*", auxiliando cêrca de quarenta institutos de pesquisa em diversos campos, gasta 40 milhões de dólares por ano. Outras organizações contribuem com somas menores. Sabe-se que a indústria alemã gasta cêrca de 500 milhões de dólares por ano em pesquisa, sendo então difícil de se dizer quanto é destinado para pesquisa básica e quanto para pesquisa aplicada.

Para a Rússia, não se pode fornecer dados de gastos financeiros. Tudo pertence e está controlado pelo govêrno, administrado principalmente através da Academia de Ciências. Nenhum dado fiscal é disponível; nem existem dados sôbre o grosso do produto nacional, sendo portanto difícil a comparação com os outros países. Entretanto é sabido que os esforços para a pesquisa são grandes. A Rússia criou um número muito grande de institutos de pesquisa, um dêeles com cêrca de 3.000 empregados para pesquisa aplicada (para maquinária pesada) e para pesquisa básica; as universidades seguem um modêlo normal, a maioria dos professores visando a pesquisa, com publicações frequentes. Há uma falta de variedade de instituições pela grande centralização, diferindo muito nêste sentido dos países ocidentais.

Estas observações são tôdas muito gerais e mesmo fracas e eu me desculpo em usá-las; mas elas podem servir como funda-

mentos para se avaliar as posições das várias nações na pesquisa. Escolhi apenas cinco dos países mais altamente industrializados e maiores para estas observações.

É óbvio que para os países menos industrializados ocupados em construir sua economia, os dados são menores que os mencionados.

A ORGANIZAÇÃO E AUXÍLIO PARA A PESQUISA EM METALURGIA

Algumas informações podem ser fornecidas sobre o auxílio à pesquisa metalúrgica em várias nações, particularmente para a indústria siderúrgica, não tendo eu podido encontrar dados em pesquisa no campo dos não-ferrosos. Nos Estados Unidos, as indústrias siderúrgicas gastam mais de 120 milhões de dólares em pesquisa; note-se que esta soma não se refere apenas à metalurgia, mas também inclui pesquisas e desenvolvimentos necessários em campos congêneres, como por exemplo em automatização. Este dado não é totalmente significativo, entretanto, porque grandes somas são gastas em pesquisa metalúrgica em muitas outras indústrias, por exemplo a indústria automobilística, a indústria elétrica, as indústrias e departamentos de aeronáutica e astronáutica. Outras somas substanciais são gastas nas universidades e institutos de pesquisa, especialmente em pesquisa básica em metais, fundos êsses vindos primeiramente do Departamento de Defesa e também da admirável Fundação Nacional de Ciência (*"National Science Foundation"*), da Comissão de Energia Atômica, etc.. Este extensivo auxílio à pesquisa verdadeiramente básica, fornecido pelo Departamento de Defesa, é único na história e entre as nações; a maioria dos grandes esforços para a pesquisa nas universidades, em metalurgia, bem como em outras disciplinas, é auxiliada desta maneira.

Dados sobre o Reino Unido relativos aos auxílios à pesquisa na indústria siderúrgica estão bem documentados, como decorre de um artigo muito recente do *"Iron and Steel Board"* sobre *"A Pesquisa na Indústria Siderúrgica"*. Relata os esforços nas pesquisas na indústria siderúrgica e os planos de auxílio à indústria de aço apenas ou a tóda indústria siderúrgica, como por exemplo, as várias associações de pesquisa, mais particularmente a *"British Iron and Steel Association"* com quatro laboratórios e um montante anual de cêrca de 2,3 milhões de dólares. Ao todo, é estimado que aproximadamente 12 milhões de dólares foram gastos (em 1959) no auxílio à pesquisa metalúrgica, representando 0,63% do total de vendas. Não consegui dados referentes às indústrias não-ferrosas que, entre outras atividades de pesquisa, auxiliam a *"British Non-Ferrous Metals Research Association"*.

A indústria siderúrgica da França auxilia o *IRSID* (“*Institut de Recherches de la Sidérurgie Française*”) em St. Germain-en-Laye e em Maizères-lès-Metz, com um orçamento anual de cerca de 8 milhões de dólares, através de arrecadação voluntária nas companhias de aço e sem auxílio governamental.

Não é possível obter-se dados sumários dos fundos gastos na pesquisa metalúrgica na Alemanha. Deve-se notar que a maioria das pesquisas metalúrgicas básicas (e algumas aplicadas) é feita nos laboratórios do “*Max-Planck-Institut für Metallkunde*” em Stuttgart. Poder-se-ia ir mais adiante, citando-se os institutos de pesquisa nas universidades e na Universidade Técnica (“*Technische Hochschulen*”), como por exemplo em Aachen, que são importantes no campo metalúrgico. Convencionalmente, uma companhia de aço alemã, com uma produção anual de cerca de ... 4.000.000 toneladas, tem uma equipe de pesquisadores de mais ou menos 300 cientistas, engenheiros e auxiliares.

Vejamos outros países:

O governo belga auxilia o laboratório do “*Centre National des Recherches Métallurgiques*” (Centro Nacional de Pesquisas Metalúrgicas) em Liège, com um orçamento de cerca de 1,7 milhões de dólares. Como é bem sabido, os esforços japoneses para a siderurgia têm sido admiráveis, tanto para a pesquisa como para a atividade comercial; são gastos habitualmente cerca de 25 milhões de dólares por ano em pesquisas, comportando 0,85% das vendas; Fuji gasta 4 milhões de dólares anualmente, com equipe de 250 pessoas; Yawata gasta a mesma soma com uma equipe de 400 pessoas e o Instituto Nacional de Pesquisas em Metalurgia gasta 2 milhões de dólares com uma equipe de mesmo porte. Pequena pesquisa cooperativa é feita. A quantidade de pesquisa em cooperação, varia grandemente de país para país.

Isto é, porém, muito variável. Na Inglaterra, a pesquisa cooperativa é muito ativa, especialmente através de associações de pesquisa, onde há 54 associações (com 5 no campo metalúrgico); pouco é feito na Alemanha; os alemães e os franceses compartilham-se em um programa cooperativo no uso do oxigênio na fabricação do aço e, por certo, a França tem a cooperação oportuna do *IRSID*. Também nos Estados Unidos, pouco existe sobre pesquisa cooperativa, exceto nos institutos de pesquisas como o Batelle ou nas atividades dos Comitês industriais e “ad-hoc” governamentais. Em parte, este aspecto da pesquisa metalúrgica depende do tamanho das companhias individuais de aço; pequenas companhias mal podem sustentar os equipamentos necessários e os numerosos especialistas de que precisam atualmente; a solução própria é obviamente um grupo de esforço cooperativo. Nos Estados Unidos, as companhias de aço são grandes (e competitivas!) e podem prover todo

o necessário, como por exemplo, a “*United States Steel Corporation*” ou a “*Bethlehem Steel Company*”.

Finalmente, deve ser notado que todos os países têm planos ativos para a expansão da pesquisa. Os laboratórios de pesquisa na indústria siderúrgica na Alemanha, por exemplo, se propõem todos eles a duplicar seu pessoal nos próximos dez anos, a despeito da dificuldade com potencial humano para pesquisa.

AS ANSIEDADES

O Relatório do “*British Iron and Steel Board*” lamenta o estado da pesquisa na indústria siderúrgica na Grã-Bretanha. Retrocedendo, relata as realizações passadas na Inglaterra na ciência, na engenharia e na indústria e considera que, hoje em dia, elas são menores; compara os auxílios habituais na siderurgia com os de outros países, particularmente os Estados Unidos, observando que a Grã-Bretanha gasta em pesquisa apenas dois terços do percentual das vendas, em comparação com o que fazem os americanos e censura êsse estado de coisas. Relatórios similares têm sido escritos sobre a pesquisa na ciência em geral, como por exemplo os relatórios de Trend, de Todd e o de Robbins sobre a educação. A França parece estar menos preocupada com isso, exceto na educação em ciência e engenharia sobre a qual êste país parece preocupar-se. Os alemães, entretanto, estão realmente ativos novamente, devido a perda de prestígio mundial que gosavam antes em algumas áreas, como a da físico-química.

Ouvi o laureado Heisenberg, Prêmio Nobel, em um programa de TV durante uma hora, transmitido em Zurique, queixar-se amargamente da falta de apêio e de interêsse na ciência, na Alemanha.

Suponho que a razão dessa inquietação é devida à difícil questão de exatamente quanto dinheiro deva ser fornecido em auxílio da pesquisa. Não há resposta confortadora a essa atraente e desafiante questão. Munidas de um mesmo grau de industrialização, a maioria das nações estima suas posições relativas pela quota de porcentagem do produto nacional bruto (PNB) que é fornecido à pesquisa, assumindo que para ser comparável e, o que parece ser razoável, as porcentagens devem ser iguais entre as nações.

Dados aproximados dos PNB são os seguintes:

Reino Unido	\$	80.000.000.000
França	\$	80.000.000.000
Alemanha Ocidental	\$	100.000.000.000
Itália	\$	40.000.000.000
Rússia	\$	Desconhecido
Estados Unidos	\$	600.000.000.000

Se êsses dados forem corretos, as grandes diferenças da tabela acima certamente significam que os gastos totais para pesquisa nas diversas nações diferirão e deverão diferir, quaisquer que sejam os sentimentos de orgulho que possam ser despertados.

As porcentagens das Vendas Brutas Anuais gastas em pesquisa na Siderurgia entre os países principais (o quanto sejam êstes dados disponíveis e de confiança!) são:

Estados Unidos	1,00%
Reino Unido	0,63%
França	1,00%
Japão	0,85%

Em vista dêstes dados, a Grã-Bretanha recomenda agora que os fundos para pesquisa em aço sejam aumentados de 50%, o que a colocaria em bases comparáveis com os Estados Unidos (embora não em base de igualdade). Eu poderia observar de passagem que, em geral, para a pesquisa, o Reino Unido dedica 2,37% do seu produto nacional bruto, enquanto que os Estados Unidos dedicam 2,74%. Observe-se que os dados da tabela acima são valores médios; nos Estados Unidos, algumas companhias ligadas à manufatura de aços-liga e aços especiais gastam aproximadamente 3%, enquanto que outras, principalmente produtoras de aços comuns, gastam menos de 1%.

É prática comum entre os críticos lamentar as pequenas porcentagens das vendas anuais que retornam para a pesquisa na indústria siderúrgica. Entretanto, pode ser observado (e é válido, quaisquer que sejam as opiniões) que comparar a indústria de aço com outras indústrias poderia ser legítimo, mas não justo. Numa indústria onde a velocidade com que um produto se torna obsoleto é elevada, como na indústria farmacêutica, os custos em pesquisa devem ser necessariamente altos e também, por certo, o inverso é verdadeiro. Os dados da tabela seguinte demonstram êste fato:

PORCENTAGENS DE VENDAS DISTRIBUIDAS À PESQUISA EM VÁRIAS INDÚSTRIAS

Farmacêutica	20%
Elétrica	5%
Siderúrgica	1%

Êstes dados, estas porcentagens, medem o que a sociedade acredita e o que deve ser feito no momento. São êstes os assuntos que os estadistas ponderam. Quais, verdadeiramente, deveriam ser estas porcentagens? Não se sabe. Pode-se apenas

observar que elas estão se elevando e, provavelmente, continuarão a subir.

Sinto-me meio embaraçado em fornecer tantos dados nesta conferência. Com o auxílio de diapositivos, um grande número de tabelas e dados é utilizado por conferencistas medíocres como substituto de idéias. Estatísticas são usualmente tão interessantes como uma declaração de imposto de renda ou tabelas de seguro de vida.

PESQUISA APLICADA EM METALURGIA

Como se deve discutir sobre pesquisa aplicada em Metalurgia? Isto é um assunto muito vasto e infinitamente diversificado, além de ser correntemente muito variado. Começaríamos, talvez, por definir o que significa justamente "*pesquisa aplicada*". Esta é a pesquisa que é feita para conduzir a benefícios práticos, a prazo curto ou mesmo imediato, para a indústria que a patrocina. Esta poderia ser chamada doutrina da clara relevância; relevância é a palavra-chave que teremos ocasião de usar outras vezes nesta conferência.

As realizações têm sido grandes: a indústria tornou-se pioneira em muitas direções. Tem-se dito muito apropriadamente que a indústria metalúrgica, nesta geração, transformou-se de artesanato em indústria científica e em indústria tecnológica.

Esta observação reflete a história deste campo. Os avanços feitos no último século foram baseados apenas em ciência elementar, combinada com o bom senso do engenheiro e na engenhosidade da invenção, como ocorreu por exemplo com o forno Siemens Martin e também com o forno Héroult; a confecção de ligas foi produto puramente do espírito inventivo, como por exemplo, os aços Hatfield. Somente nos anos relativamente recentes, digamos nos últimos cinquenta anos, um certo rigor apareceu na engenharia e na ciência; no campo metalúrgico, através ainda deste mesmo período até hoje, a engenhosidade e o espírito inventivo ainda entram em grande parte. Veremos alguns exemplos.

A indústria metalúrgica e o consumo dos metais industriais devem muito à pesquisa, especialmente durante os anos de vida da ABM. Talvez eu devesse relatar alguns desses progressos, porque eles definem bem o campo da relevância, mencionado atrás. Muito avanço se tem conseguido no campo da extração do ferro — concentração e aglomeração do minério pois isso é a base da Siderurgia. Os minérios variam muito em todo o globo e portanto, o problema varia acentuadamente de país para país; o alto-forno necessita de sinter, pelotas auto-fluxantes. Os estudos sobre o coque têm sido constantes, não só tendo em vista a redução da

porcentagem de enxôfre mas também o aumento da sua resistência para suportar a carga no alto-forno. A carga do alto-forno tem sido melhorada; enquanto nos Estados Unidos em 1953, o consumo médio de coque foi de 1812 libras/t de gusa, em 1963 caiu para 1380 libras.

Consideremos também que em 1951, dos 230 altos-fornos, cada um produziu em média 861 t/dia. Em 1961, 165 altos-fornos produziram uma média de 1305 t/dia; havendo um caso de 3245 t/dia. Tudo isso foi obtido através de melhorias técnicas e de uso de combustível injetado (gás, óleo, coque), além de oxigênio injetado e altas pressões no tópo. Êstes progressos reafirmam a grande eficiência do alto-forno e diminuiu substancialmente o interesse na redução direta do minério de ferro.

O forno Siemens-Martin, que foi a base da aciaria, foi igualmente melhorado com o uso do oxigênio (que é de baixo preço), com melhor contrôlo do combustível, com o melhor uso do combustível e com refratários mais adequados, aumentando, assim a vida da abóbada do forno de 100 corridas, em 1952 para 400 corridas em 1962.

O avanço mais espetacular feito neste campo nos últimos anos, como já sabemos, foi o aparecimento do conversor de oxigênio soprado no tópo pelo processo denominado L-D (Linz-Donawitz). Tornou possível com a disponibilidade atual de oxigênio barato, seu desempenho entusiasmou a todos e o processo está sendo adotado no mundo todo. Tais progressos espetaculares não constituem a regra em metalurgia, mas êles podem ocorrer!

O lingotamento contínuo tornou-se adulto, depois de um longo e notável período de adolescência; êle é encontrado agora em muitas indústrias e seu futuro será dos mais brilhantes; à parte de outras atrações, assegura um aumento no rendimento da produção de aço, de 15%. Iniciando-se sua aplicação somente em pequenas tonelagens, é usada agora nas grandes produções e começa a alterar a aparência das laminações de aço.

Fornos de fusão a vácuo com arco de eletrodo consumível já estão aprovados na fabricação de aços-liga especiais pelo seu bom resultado, no que se refere ao problema dos gases no metal. Na mesma categoria está a degaseificação a vácuo dos aços. Durante muitos anos a fusão a vácuo tem sido praticada em várias companhias de aço para a fabricação de aços especiais e de altas qualidades, processo êsse que possui muitas atrações, entre as quais pode-se citar a superior limpeza que acarreta e o aumento no limite de fadiga do aço. Recentemente o processo entrou em grande escala de uso sob a forma de fundição a vácuo, em lingoteiras, com o propósito de baixar o teor de hidrogênio no aço, eliminando-se, assim, o problema do aparecimento das falhas especialmente para o forjamento pesado. Atualmente, em alguns luga-

res, grandes tonelagens são degaseificadas na panela, mantida numa câmara a vácuo, com acentuada melhoria não somente devido ao problema do hidrogênio e da fadiga, como também, — como seria esperado, — na qualidade da superfície dos cilindros forjados com acabamento fino. Há outras variantes destes diversos processos citados, incluindo-se a degaseificação de panela a panela.

Todos êstes prognósticos pertencem ao futuro. A "*British Iron and Steel Research Association*", durante vários anos, tem levado a cabo experiências em usinas pilotos em degaseificação de aço, em processos onde pode-se prever um bom futuro. Não é segredo o fato que todos os interessados na fusão do aço esperam que a degaseificação a vácuo, de uma forma ou de outra, tornará possível a desoxidação dos aços com carbono, em vez de se usar desoxidantes metálicos (com o concomitante resíduo de óxidos destes metais no aço), alcançando, assim uma limpeza no metal há muito tempo sonhada pelos metalurgistas e pelos seus consumidores. O trabalho contínuo que tem sido feito na físico-química das reações metalúrgicas, não visando desenvolver novos processos, resultou em se compreender a natureza e as limitações da química nos problemas que envolvem os processos de extração de metais e contribuiu, assim, para a compreensão dos avanços mencionados. Ainda mais, não estará longe o dia em que todos êsses processos distintos de fabricação de aço serão combinados, de forma ainda desconhecida para nós, para uma fabricação contínua do metal. Uma lista dos progressos recentes, mesmo breve como a apresentada, não deve deixar de mencionar outras realizações não consideradas puramente como metalúrgicas. A laminação contínua de tiras da qual a Armco Steel Company dos Estados Unidos é pioneira tornou-se atualmente um modelo, devido ao seu controle e sua velocidade revolucionários. Seu processo, além de outros, como a extrusão com vidro fundido como lubrificante, ajudados por uma maquinária moderna estão sujeitos sempre a estudos novos e desenvolvimentos. Métodos que empregam altas velocidades são extremamente apreciados na indústria siderúrgica; há outros, como por exemplo, a "*United States Steel Corporation*" que possui linhas contínuas de estanhagem eletrolítica, galvanização e aluminização, tôdas requerendo e operando com excelente instrumentação para controle de qualidade. Em nenhuma parte a instrumentação é tão crítica como na automação da indústria, em que, sendo revolucionária, alterou todo o seu aspecto, tendo ainda influências sociais. Isto, e muito do que acima foi mencionado, requereu e requer novas Usinas e novas instalações; por isso demanda também maior capital de investimento, problema perene das siderúrgicas de todo o mundo. A questão da obsolescência do equipamento é para nós outro problema que só se pode resolver com o auxílio da pesquisa.

Os progressos citados foram realizados nos laboratórios industriais, na própria indústria e nos escritórios de engenharia. Eles combinam conhecimentos metalúrgicos com disciplinas diversas de outros ramos científicos e técnicos.

O campo não-ferroso da indústria extrativa e de processos metalúrgicos tem também sido caracterizado por um progresso digno de menção. Alguns exemplos deste campo tão variado (trata de todos os metais, exceto o ferro!) devem ser suficientes, pois numa exposição de apenas uma hora, eu só posso esperar em fornecer um sumário das questões mencionadas. O método de produção de magnésio baseado na redução do óxido de magnésio por silício em presença de cal, desenvolvido no Canadá durante a guerra, é considerado como sendo competitivo com o processo eletrolítico em países onde a energia elétrica não é barata. E aqui, de novo, está um exemplo de como as circunstâncias locais, variando tanto de país para país, influem sobre o desenvolvimento ou sobre a escolha da tecnologia adequada. O processo da lixiviação por amônia, para extração de níquel e cobre dos minérios de Manitoba, tem sido estudado cuidadosamente, baseando-se na precipitação do hidrogênio dos metais dissolvidos na solução de amônia. As reações são conhecidas desde o começo do século ou mesmo antes, mas somente recentemente é que este processo foi pôsto em prática, em bases da engenharia. Temos, portanto, outra vez um exemplo da aproximação tecnológica-científica, em vez de se ter em jôgo meramente a habilidade, como já foi dito na produção de aço.

O processo dos sub-haletos na produção do alumínio, embora não aprovado em nenhuma parte, é bastante notável para ser mencionado. Ele é baseado na reação de uma liga de ferro-alumínio com o tricloreto de alumínio, produzindo monocloreto de alumínio e ferro, com o monocloreto reagindo depois para formar tricloreto e alumínio metálico; a Alcan tem uma usina pilôto que produz mil toneladas anuais. A química do cloreto tem sido usada pela DuPont para a produção de titânio, havendo ainda muitos outros exemplos. Finalmente (neste pequeno resumo que omite diversos outros tópicos no campo da metalurgia), note-se o processo relativamente novo de forno de sôpro para a produção simultânea de chumbo e zinco, agora em operação em grande escala na "*Imperial Smelting Company*" na Inglaterra e em outros lugares. Embora muito de engenharia e de invenção tenha sido requerido para o desenvolvimento do processo, grande parte do seu sucesso é devido ao fato de que uma completa análise termodinâmica foi feita em tôdas as etapas. Aqui, novamente, a vigilância da pesquisa é exemplificada: engenharia, espírito inventivo, ciência.

Os produtos metalúrgicos têm exigido tanta atenção do pesquisador ou mesmo mais atenção que os outros. A história é

longa; para o aço, exigiu mais de dois mil anos, sendo que, esta parte do campo da metalurgia está atualmente muitíssimo ativa. Pode-se dizer aos não-metalurgistas quais os requisitos que um metal ou liga deve ter; expliquemos isto brevemente, pelo menos nos aspectos principais: deve ser possível obtê-lo por preços razoavelmente baixos para uma grande quantidade dos produtos metalúrgicos; não deve ser muito sensível a tratamentos térmicos e deve estar completamente isento de defeitos.

Tais produtos devem atender a muitos requisitos durante seu uso: não devem ser frágeis nas condições de sua utilização, devem resistir a um ou mais ataques que o uso impõe durante sua vida; êsses, podem ser de corrosão, de oxidação, de fadiga ou qualquer outro; devem ainda ser suficientemente fortes na temperatura de sua utilização; precisam ser muitas vêzes susceptíveis à conformação, usinagem e soldagem e também estáveis durante o seu uso. Poderíamos prosseguir com êstes requisitos; resumindo-os então, diremos que a questão principal é que o produto deve ser adequado para os diversos requisitos. Tudo isso fixa a meta da pesquisa aplicada.

A indústria siderúrgica desenvolveu talvez 10.000 variedades de aço, desde especiais para ferramentas até aços os mais moles possíveis (gostaria de falar em ferro, mas esta terminologia é ambígua). A indústria tem sido pioneira nestes aços, incluindo os de alta qualidade para estampagem profunda; os aços especiais não-envelhecíveis (ou envelhecíveis a longo tempo) para lâminas e placas; vários tipos de aços inoxidáveis; uma quantidade enorme de aços suscetíveis a tratamentos térmicos; aços de baixa liga e de alta resistência do tipo Corten; aços com alto teor de níquel para serviço a baixas temperaturas; aços soldáveis com super-resistências do Tipo T-1 e aços especiais como a grande variedade de inoxidáveis endurecíveis, como por exemplo o Armco PH-17, antes designado exclusivamente para aeronaves e foguetes, mas hoje não; aços ao silício com granulação orientada; aços resistentes à fluência estanhados superficialmente em camada extra-fina (especialmente importantes para recipientes sujeitos a alta pressão em reatores atômicos). Êstes são os exemplos mais importantes.

Muitas das pesquisas dedicaram-se aos tratamentos térmicos dos aços, uma arte antiga, mas hoje tornando-se cada vez mais moderna (e satisfazendo mais ao público em geral!). Têmpera, revenido e as muitas virtudes dos quais os aços-liga herdaram, são todos básicos para a indústria. A antiga indústria da arte trabalhava bem, mas agora, com o trabalho de milhares (como alguns pioneiros da última geração: Portevin na França; Jomimy, Bain, Grossmann na América; Wever na Alemanha), podemos proceder como um engenheiro e um cientista o fazem. Mesmo que não se possa compreender a intimidade do processo da de-

composição da austenita e mesmo que as complexidades do aço sejam desafios à teoria (não se conhece ainda os fatores que determinam a forma da curva TTT da qual depende o tratamento, térmico), mesmo assim nosso conhecimento qualitativo é muito grande e nosso conhecimento quantitativo do fluxo do calor é tão completo, que estamos muito longe do estágio da arte, mas estamos dentro do estágio tecnológico-científico.

Nós devemos certamente ser ainda mais cuidadosamente modestos nisso. Apesar de nosso avanço em conhecimentos neste campo na última geração, há muitos casos onde a análise científica e técnica oferece apenas uma ajuda muito elementar e a engenhosidade e espírito inventivo são os únicos caminhos na composição de ligas para ensaio; "*pesquisa Edisoniana*", se se desejar assim chamar. Tome-se por exemplo, as novas ligas para alta temperatura, com 5, 6, 7 metais componentes. Nenhum cientista pode prever a constituição de tais ligas, muito menos pode prever sua resposta ao tratamento térmico ou seu comportamento em serviço.

Outras ligas ainda de grande valor têm sido feitas e estão em uso, como por exemplo, as excelentes ligas à base de níquel, chamadas *Nimonic*. Há outros exemplos: ferro nodular, cuja teoria ainda é infelizmente desconhecida e os notáveis e novíssimos aços *Maraging*. Aqui, existe um importante princípio. Pode-se ver que há, na verdade, uma fronteira de progresso que, avança continuamente à medida que o tempo passa e a análise científica e técnica assume então aspectos Edisonianos, porém, é verdade também que a expansão dos campos da tecnologia introduz novas e maiores complexidades, trazendo novos aspectos para as realizações Edisonianas. Os problemas metalúrgicos raramente são caracterizados por uma ou por poucas variáveis, como nos problemas da Física, mas sim, por uma grande quantidade delas. Introduzindo uma metáfora, pode-se dizer que o cientista deve ser cuidadoso para não flexionar demais seus músculos nesta loja de louças!

Esta é uma pequena confissão para o metalurgista do aço e poderíamos relatar muito mais, não fôra pelo auditório. Considerações similares poderiam ser feitas para ligas não-ferrosas e em muitas delas. Ligas de alumínio, sujeitas durante anos a pesquisas ativas e muito apropriadas, ocupam em tôdas as suas variações, um lugar muito importante na nossa civilização, desanimando um pouco até os siderurgistas. Algumas das ligas usadas para resistir altas temperaturas são essencialmente não-ferrosas, como o *Nimonic*. Uma nova indústria construída pela pesquisa é a indústria das ligas de titânio e zircônio, feitas à custa de muito dinheiro, tendo agora uma posição firme nas aplicações da Engenharia. O trabalho de pesquisa em desenvolver totalmente uma

nova indústria metalúrgica é muito oneroso, onde se tem dito que o segundo fator que entra numa nova indústria é o que traz dinheiro, mas o primeiro, o inovador, é o que leva o dinheiro! Deve-se aprender a produzir ligas metálicas economicamente e dentro de uma qualidade satisfatória, aprender a fundi-las sem danificá-las, aprender a lhes dar forma sem defeitos, a controlar e melhorar suas propriedades por tratamento térmico e finalmente estudar seu comportamento em serviço. Esta é grande lição para aqueles que querem se tornar úteis metalurgistas! Uma lição para ser aprendida e reaprendida.

Naturalmente há outros exemplos de progressos feitos na metalurgia física das ligas não-ferrosas (ligas de cobre, magnésio, chumbo e outros) e novos metais ainda devem aparecer, como o nióbio, com possibilidades ainda para serem exploradas as ligas de urânio de aplicações tão especiais e que estão sendo mais e melhor estudadas atualmente, além dos vários grupos de energia atômica, felizmente superando dificuldades existentes.

Novos tipos de produtos aparecem, um deles sendo as notáveis ligas endurecidas por dispersão feitas com um metal tendo internamente óxido refratário disperso. Pó de alumínio sinterizado foi o primeiro, ainda em estudo ativo, e o último é o espetacular *TD-níquel* da DuPont, composto de níquel com partículas dispersas de tório, não em completo uso, mas ainda sob ataque da pesquisa, porém sendo muito atraente e promissor. Aparecerão, sem dúvida, outros compostos com óxidos refratários ou com fibras fortalecedoras.

Alguns métodos especiais de conformação e tratamento, desenvolvidos em anos recentes merecem atenção, a saber, métodos que usam alta velocidade tais como o processo *Dynapac* de conformação idealizado pela Convair na Califórnia e, mais recentemente, o novo processo conhecido como "*ausforming*", trabalho a quente e a frio ou tratamento termomecânico, experimentado primeiramente pela Ford Company em Dearborn. Ambos são certamente inéditos, sendo que o último consiste em temperar os aços até temperaturas intermediárias, trabalhá-los nessa temperatura, esfriando-os depois até à temperatura ambiente e finalmente fazer o revenido; resulta assim aços de extraordinária resistência, sem prejuízo da ductilidade; um resultado não esperado e feliz.

Deve ser notado que há muitos desenvolvimentos auxiliares que reforçam a necessidade da pesquisa. Já mencionei antes a *instrumentação*, que deve ser mencionada outra vez em conexão com a pesquisa em laboratório de metalurgia de hoje, o qual parece ter-se transformado num laboratório de eletrônica! Os novos aparelhamentos são entre outros: analisador eletrônico ("*electron microprobe analyser*") desenvolvido na França, fornecendo a com-

posição química de uma área de um corpo de prova de apenas um micron de diâmetro. É um instrumento extraordinário em potência, utilizável em pesquisa básica e aplicada, como por exemplo, no estudo da segregação em ligas comerciais; citarei mais, o microscópio eletrônico de transmissão; o novo método gáscromatográfico de análise de gases nos aços, em desenvolvimento no "*British Welding Research Laboratory*" e em outros laboratórios e, finalmente notáveis progressos nas diversas formas de ensaios não-destrutivos.

Não se deve entender que tôdas as pessoas que trabalham num laboratório de pesquisa aplicada devem estar empenhadas exclusivamente em pesquisar, no sentido estrito da palavra, e os dados relativos ao pessoal devotados à pesquisa são por causa disso enganadores. Muitos estão necessariamente empenhados em coisas correlatas, embora de máxima importância, como: a promoção dos métodos da qualidade e dos métodos de controle da qualidade, ou elaboração de especificações; eu me interrompo aqui para lembrar que o desenvolvimento de uma indústria em conformidade com as especificações é sinal de maturidade industrial; continuando, citaria o desenvolvimento de vários testes para calcular a disponibilidade de serviço, o auxílio aos fregueses, quando estão com dificuldades. Muito do progresso em metalurgia, como já disse, consiste num volume de trabalho de detalhe que não é, indubitavelmente, tão espetacular. O desenvolvimento da energia atômica de certo modo tem dado algum prejuízo para a pesquisa; ela tem levado muitos personagens políticos e dirigentes a acreditar que o progresso e a melhoria de uma empresa consistem apenas em grandes vitórias na pesquisa, e isso não é verdade.

Não se pode dizer que firmes princípios têm sido desenvolvidos na conduta da pesquisa metalúrgica ou mesmo da pesquisa industrial em geral. Muito da pesquisa é imprevisível, sendo às vezes necessária certa ousadia. Das atividades que descrevi, resulta uma habilidade flexível, mais que uma pequena complexidade, requerendo mais riqueza mental e qualidades de caráter num diretor de pesquisas.

Há muitos diretores com essas qualidades e muitos laboratórios admiráveis de pesquisa aplicada no mundo, em indústrias produtoras e consumidoras, das quais mencionarei algumas: Renault em Paris, Bochumer Verein em Bochum, Fiat em Turin, United Steel em Sheffield, Alcoa em Pittsburgh e suponho que devo também incluir a U.S. Steel em Pittsburgh!

Assim, descrevi os itens das atividades de pesquisa e citei alguns laboratórios, embora saiba que minhas considerações não são completas, mas eu não pretendi fazê-lo, pois quis apenas dar amostras representativas, esperando que estas nos forneçam o estado total de pesquisas, como êle existe no ano de 1964.

ALGUMAS OBSERVAÇÕES

Estou cômico de que o que disse nos últimos quinze minutos se relaciona com as nações super-industrializadas, e por isso minhas observações carecem de generalidade. Não há dúvida alguma que, a orientação para a pesquisa industrial, varia e deve variar muito com o grau de industrialização. Uma sociedade altamente industrializada, com grandes organizações, pode e deve assegurar grandes estabelecimentos de pesquisa aplicada e deve também avançar no domínio da pesquisa básica quando ela se torna relevante. Nações não desenvolvidas têm outras coisas a fazer de maior prioridade. Exemplificando: Não se pode esperar que um país novo da África se empenhe em pesquisar como a Alemanha, usando um exemplo inadequado, apenas para fixar idéias. E entre estes extremos há uma graduação contínua nas orientações de cada país. Tais nações geralmente assumem a tarefa de adaptar a tecnologia e a ciência dos países mais altamente industrializados a seus interesses mais especializados, sendo quaisquer outras orientações, inúteis decorações de alto preço. Devem estas nações perderem-se em pesquisas de energia nuclear, dissipando seus recursos relativamente pequenos de dinheiro e pessoal treinado? Devem elas, mesmo percorrendo parcialmente o caminho da industrialização, investir substancialmente em assuntos recônditos, tais como o cálculo das interações de discordâncias ou o cálculo e medida da energia das falhas de empilhamento (stacking fault), à custa de outras pesquisas mais diretamente úteis, mesmo que muito do comportamento dos metais deva ser explicado em tais bases?

Quase todos os conhecimentos do mundo estão à disposição daqueles que os querem. Países que estão se aproximando da total industrialização, como o Brasil, devem ter e terão laboratórios de pesquisa, tais como o famoso Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, devotando largamente suas energias na adaptação de tecnologias estrangeiras e no início do desenvolvimento próprio, tal como permite a situação do país, construindo cada laboratório num alto nível de competência, não dissipando meios nem pessoal em multiplicar pequenas instituições; em tais laboratórios tendo pessoal altamente treinado e totalmente capaz em cada um de seus importantes ramos da ciência e da tecnologia. Assim me parece, não erradamente, eu espero. A pesquisa aplicada não pode estar divorciada do cenário do país; o papel no qual ela atua deve ser julgado naquilo que o país necessita em cada período de sua vida e isto se aplica a todos os países. Tudo isso, eu suponho, é óbvio.

Há um outro ponto de vista que eu creio deve ser mencionado, embora este também seja quase evidente; já aludi a êle atrás — as necessidades tecnológicas dos vários países não são as mesmas,

mesmo entre os mais industrializados e isso é sempre refletido nos programas de pesquisa. Os minérios de ferro de Lorraine na França são complicados e por isso, o IRSID dedica-se em muito à pesquisa destes minérios; este problema não existe, é claro nesta forma, no Brasil ou nos Estados Unidos. A siderurgia do Reino Unido, baseada completamente na refusão de sucata, tem em suas mãos o problema especial e difícil da contaminação e pede maior atenção da pesquisa; a Suécia tem minérios de ferro de alto teor e daí se especializou nos aços de alta qualidade; a Noruega tem grande potência hidráulica e tende mais a desenvolver os processos eletro-químicos do que aqueles baseados em outros combustíveis. Poder-se-ia seguir adiante com exemplos. Portanto, a imitação de outros países é, fora de dúvida, muito má para qualquer país. O homem de negócios sabe disso, mas os engenheiros entusiastas e principalmente os cientistas entusiastas às vezes desconhecem.

Em conexão com o que foi dito, vale a pena observar quão importante tornou-se o trabalho de conjunto para cada um. Mesmo uma grande nação industrializada não pode esperar ficar na frente do resto do mundo, sem precisar ou achar útil o que outra nação faz. Novas realizações surgem diáritamente e nunca se sabe de onde elas vêm. Quem poderia esperar o aparecimento do revolucionário processo de fabricação de aço que foi inventado na Áustria, especialmente no período de pobreza do pós-guerra? A pesquisa está cheia de surpresas em todos os sentidos e deve-se estar sempre atento a elas. Associações técnicas ajudam na comunicação e frequentes visitas internacionais são sempre necessárias, pois a comunidade científica e de engenharia, é mundial; dois engenheiros ou cientistas juntos são irmãos. A necessidade desta união é especialmente crítica para o desenvolvimento das nações desejosas de adotarem novas tecnologias. Como diz o povo: *"Seja um metalurgista e conheça o mundo!"*

PESQUISA BÁSICA

Qual a relação da pesquisa básica com a indústria? Nada há de novo sobre isso e alguns filósofos antigos conheciam a pesquisa básica apenas em pensamento, como fato. Ela foi revolvida profundamente por Francis Bacon e hoje, a pesquisa básica é uma força propulsora. De fato, ela existe por si mesma (*"eine Sache für sich"*). Seu objetivo é apenas o conhecimento, impelido pelo interesse, curiosidade e desafio, sendo também, de muitas maneiras uma nova parcela de cultura.

Estes últimos vinte anos conheceram um grande impulso com relação à pesquisa básica. Embora muitos tenham se compenetrado de sua importância mais cedo, foi realmente o desenvolvimento da energia atômica que provou isso aos homens de negócio

e ao público em geral; desde êste cataclisma, novas evidências têm chegado a nós, como o transistor, e o "laser", novas teorias, e outros. Talvez a universidade seja o ambiente natural para pesquisa básica. No passado ela teve a exclusividade mas agora, há novos desenvolvimentos e, na indústria, a pesquisa básica está sendo cada vez mais interessante. O que tem, em verdade, a ver a pesquisa básica com a indústria metalúrgica?

A resposta é simples: A pesquisa aplicada refere-se a problemas relativamente pequenos da metalurgia, mas a pesquisa básica visa respostas mais distantes; tem a responsabilidade no desenvolvimento e elucidação de idéias e teorias, que ajudam a compreender o comportamento dos materiais metálicos na prática. Se esta compreensão é melhorada, as realizações da pesquisa aplicada e o encontro das necessidades da indústria, são muito aumentadas. O campo da ciência básica dos metais é muito largo.

Nenhuma indústria pode pretender abranger todo êle, de um modo ou de outro em seus próprios laboratórios; ela deve selecionar; tal pesquisa básica na indústria ou para a indústria metalúrgica deve ser relevante. Eis aqui de novo, aquela palavra importante, tantas vêzes devastadora e preocupante. Os últimos vinte anos, período de guerra fria e ciência "quente", se posso usar um pouco a expressão de gíria norte-americana, têm visto a ciência dos metais avançar notavelmente. Como posso eu, em simples palavras, sumarizar êste fato? Sôbre isso conhece-se muito mais exemplos do que se pensa. Nêste período, o microscópio eletrônico de transmissão, tem tornado visíveis discordâncias e falhas de empilhamento ("stacking faults"), defeitos estruturais êsses que permitem acompanhar-se a deformação dos metais e, portanto, ter-se em mãos todos os processos de conformação dos mesmos; conhece-se muito mais a respeito de "vazios" ou "lacunas" nas grades cristalinas dos metais, fato de grande importância na determinação da cinética das reações no estado sólido, isto é, o campo de tratamento térmico. O recente descobrimento do efeito benéfico da adição do nióbio (colúmbio) nos aços de baixo carbono deu ensejo muito recentemente para que o microscópio eletrônico comprovasse um notável exemplo de endurecimento por simples dispersão e aqui a pesquisa básica banuiu de novo o mistério. Muito há ainda por fazer: os processos de recristalização dos metais e os vários processos de recuperação (fenômeno que precede a recristalização) estão à espera de novos esforços de pesquisa para definir que processos são êsses; quais os princípios científicos determinantes da forte influência dos elementos de liga, nas velocidades dêsses processos. Alguns campos de relevante importância têm sido esquecidos. Por exemplo: — qual é o mecanismo atômico — cristalográfico durante a solidificação dos metais? — Solidificamos no mundo 300 milhões de toneladas de aço por ano, e ainda não foi estudado êste processo

por um método básico, cuja importância é evidente sob todos os pontos de vista. Porque relativamente se omite a área da difusão, quanto ela é onipresente na metalurgia? Esta lista de questões poderia ser facilmente prolongada.

Certos problemas ficam em moda durante um período de tempo no campo da pesquisa, deixando outros de mais importância de lado. Einstein disse: *“Nunca posso entender porque a moda, particularmente em períodos de mudança e incerteza, desempenha papel quase tão significativa na ciência como no vestir das mulheres. Em todos os aspectos, o homem é o mais sugestível dos animais”*.

Não se pode dizer muito mais sobre a pesquisa básica no campo da metalurgia extrativa, isto é, o estado líquido.

Poucos são os que se ocupam desta área, a da produção dos metais; a termo-dinâmica das reações no estado líquido já foi bastante bem estudada, como já vimos atrás, mas não o foi a cinética das mesmas (Os rendimentos baseiam-se na cinética!) e a estrutura dos líquidos (metais e escórias líquidas) é ainda um campo inatacado. É uma pena que seja assim! O metalurgista físico é o *“menino dos cabelos dourados”*!

Em algum lugar, no complexo da ciência dos metais, o cientista da indústria metalúrgica deve encontrar seu lugar ditado inteiramente pelas necessidades de sua indústria. A maior parte é óbvia: Qualquer parte das presentes técnicas da metalurgia pode e deve ser sujeita à pesquisa básica. Todas estas palavras são simples, porém onde devem ser traçadas as linhas de conduta? O que é razoavelmente relevante, o que é relevante a longo prazo?

Realmente não é fácil fixar-se os limites da relevância útil, pois todo o conhecimento, de um modo ou de outro é relevante em todas as matérias e, num campo restrito, o que é irrelevante hoje, pode ser muito relevante amanhã. Esta bela filosofia é, porém, difícil de ajudar um diretor de pesquisas. Certamente que estudar a natureza das reações de envelhecimento em todos os tipos de ligas é relevante, assim como são as reações de recozimento, a lei da deformação plástica e muitos outros ramos da ciência dos metais; mas qual é o irrelevante? A teoria de Fermi sobre a superfície não coincide ainda com a teoria metalúrgica; as teorias das velocidades absolutas de reação devem ser deixadas para o físico-químico, embora pertençam ao campo da metalurgia; a teoria básica do magnetismo é mais da responsabilidade do físico do que do cientista da indústria metalúrgica, embora este possa e deva usar os resultados dessa teoria. A fronteira limite da relevância não é bem nítida. A indústria deve estar ciente dos resultados obtidos pela pesquisa básica; ela deve, de algum modo, usá-los quando possível, através de empregados ou consultores. Há uma notável e utilíssima relação entre as pesquisas aplicadas e

básica, que deve ser ainda mais fortemente unida. Muito da ciência dos metais encontra sua origem no projeto metalúrgico, o qual apresenta a maioria dos fenômenos metalúrgicos.

O campo do fenômeno da precipitação das soluções sólidas, tanto por envelhecimento natural como por deformações, desenvolveram-se devido a observações práticas; êle cresceu por intermédio de um campo sofisticado da ciência. O endurecimento por precipitação foi descoberto em 1911 numa dada liga; nos oito anos seguintes não se descobriu nenhuma outra liga endurecível por precipitação porque o princípio indicativo do fenômeno era desconhecido; Morica formulou tal princípio em 1919 e, nos anos seguintes, centenas de ligas possíveis de sofrerem tal endurecimento foram e ainda estão sendo desenvolvidas. O poder da pesquisa e da teoria pode e deve ser inculcado nos metalurgistas por sua relevância. O entendimento notável das fraturas foi grandemente apressado pela quebra de soldas em navios, sendo êste um problema muito prático; diz-se comumente que o problema mais importante em tôda a metalurgia física é o da fratura frágil, especialmente dos aços, e muitas pesquisas básicas e teóricas têm sido devotadas a êste caso. Assim, a pesquisa aplicada contribui para a pesquisa básica e, vice-versa, a pesquisa básica necessita de muita contribuição da pesquisa aplicada, sendo o intercâmbio um dever da nossa indústria.

O campo da ciência e da engenharia em metalurgia é enorme. A literatura cresce numa velocidade alarmante e os pesquisadores e os laboratórios de pesquisa estão proliferando. Que fazer para manter uma posição, ou melhor, a posição de uma indústria? Nenhuma indústria poderá cobrir tudo isto. Alguma forma de ligação deve ser, certamente, introduzida, tanto em pesquisa básica, como em pesquisa aplicada, como foi visto através de empregados com seus deveres determinados e através de consultores que dão assistência técnica. Pesquisa e realização podem desenvolver-se em qualquer lugar espontaneamente. A velocidade com que os satélites circulam a terra dificilmente pode concorrer com a estonteante velocidade dos pensamentos dos cientistas e engenheiros de qualquer lugar.

EDUCAÇÃO E UNIVERSIDADE

Êste não é o lugar para se dissertar sobre educação, mesmo sobre educação metalúrgica; entretanto êste assunto é tentador para uma pessoa como eu. Traçando um quadro geral da pesquisa nas indústrias metalúrgicas, o trabalho das universidades certamente não pode ser ignorado. As universidades produzem homens que são mais importantes que o aço! Planos de educa-

ção devem ser criados não tendo em vista apenas o desenvolvimento cultural, mas também as necessidades do país.

Eu não acredito que haja um esquema ideal de educação, que seja próprio para todas as nações, isto é, que seja próprio para as nações altamente industrializadas e para as parcialmente industrializadas. Os esquemas educacionais que eu tenho visto em todo mundo, refletem esta circunstância. É um período de fermentação na educação de todos os países, com muitas idéias para experimentar; há novos radicalismos; o mundo educacional está vivo.

Para mim, a educação metalúrgica, precisa ter uma direção específica; que é em direção às necessidades da indústria metalúrgica, com todos os fundamentos necessários para o longo futuro do estudante. Eu tive uma longa ligação com a Escola Politécnica de São Paulo, admirando muito sua dedicação a essas tarefas, sua orientação no envio dos melhores alunos para o exterior para um estudo mais aplicado. E esta experiência tem sido de grande sucesso; deve continuar e talvez ser incrementada.

As universidades têm um papel na pesquisa fundamental, especialmente nos países mais altamente industrializados; não influenciando-se em nenhuma doutrina de importância, pode-se prosseguir em qualquer direção que se queira, na qual se pode esperar resultados inteiramente inesperados, avançando os conhecimentos e ficando-se a par de todas as coisas novas das indústrias. Quem teria pensado, ainda neste século, que os trabalhos tipicamente acadêmicos sobre a radioatividade e sobre as séries de desintegração radioativa de Soddy e outros nos levariam à energia atômica? O Professor, graças a êle, tem sido a chave de tudo. Êle e a Universidade em si, devem ser ajudados de todas as maneiras possíveis, pelo govêrno e pela indústria; o investimento é de rendimento soberbo!

O FUTURO

Qual é, então, o futuro da pesquisa na indústria metalúrgica? É claro que nós já acordamos da letargia que nos envolveu durante toda uma geração. Aquêles assuntos individuais que serão provavelmente desenvolvidos, pelo julgamento das promessas de hoje, eu já os enumearei nesta conferência.

Se não houver mais grandes guerras ou grandes depressões econômicas, eu penso que a pesquisa, na certa, crescerá em todos os sentidos, incluindo-se as do campo das indústrias metalúrgicas. Eu não sei como responder à questão referente a qual dos campos o desenvolvimento da pesquisa será melhor para a raça humana; apenas sei que tal desenvolvimento acontecerá. E que os líderes devem liderar, os trabalhadores, trabalhar e os pensadores, pensar!