
LABORATÓRIO DE SUPERCONDUTIVIDADE E MAGNETISMO: UM ENFOQUE EPISTEMOLÓGICO⁺

Neusa Teresinha Massoni
Instituto de Física – UFRGS
Porto Alegre – RS

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de relatar uma experiência pessoal vivida num Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo, em uma universidade pública federal. Fazemos uma descrição de aspectos relevantes do cotidiano de um moderno laboratório de Física, procuramos identificar visões dos pesquisadores sobre o seu trabalho e apresentamos algumas reflexões buscando relacionar esses achados com visões epistemológicas contemporâneas. Esperamos que esta descrição, acompanhada de uma breve análise do ponto de vista epistemológico, possa contribuir para o debate atual sobre a natureza da ciência e suas implicações para o Ensino de Física.

Palavras-chave: *Supercondutividade; laboratório de pesquisa; epistemologia; ensino de Física.*

Abstract

The objective of this paper is to tell a personal experience lived in a Superconductivity and Magnetism Research Laboratory, in a Public Federal University. Relevant aspects of everyday activities in a modern Physics research laboratory are described, personal views of the researchers regarding their work are identified, and some thoughts

⁺ Superconductivity and Magnetism Laboratory: a epistemological approach

* Recebido: julho de 2008.
Aceito: abril de 2009.

attempting to relate these findings and contemporary epistemological views are presented. This description together with a brief epistemological analysis might contribute to current discussions on the nature of Science and its implications for Physics teaching.

Keywords: *Superconductivity; research laboratory; epistemology; Physics teaching.*

I. Introdução

Este trabalho resulta de uma experiência vivida em um laboratório de Física Contemporânea do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: o Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo.

Acreditamos que algumas questões desafiadoras para um pesquisador da área de Ensino de Física, como é nosso caso, são tão relevantes quanto contextuais, pois estão no bojo do debate epistemológico contemporâneo: como se faz Física Contemporânea? Em que consiste o trabalho do pesquisador? Quais os desafios da pesquisa científica do século presente? Como é o cotidiano do cientista moderno?

Essas e outras questões nos levaram a acompanhar, durante alguns meses, o cotidiano de alguns pesquisadores no laboratório de supercondutividade, na condição de doutoranda em Física na área de Ensino de Física.

Supercondutividade é um assunto fascinante porque, a nosso ver, apresenta uma tríade de aspectos igualmente importantes: i) é um fenômeno macroscópico intrigante, que é tratado microscopicamente pela Física Quântica; ii) é um tema que compõe, dessa forma, o campo de conhecimento da Física Contemporânea e, por isso, um estímulo para sua inclusão na formação de professores, com vistas a tratar esse tópico no Ensino Médio; iii) representa pesquisa científica de ponta, pois há enormes expectativas de aplicação tecnológica, embora a pesquisa básica não tenha esse compromisso como característica fundamental.

A pesquisa experimental em supercondutividade, além de andar lado a lado com a pesquisa teórica, exige aparatos instrumentais sofisticados, pois trata de um fenômeno que ocorre a temperaturas muito baixas e, ao mesmo tempo, os resultados das medidas precisam ser de grande precisão.

Buscar compreender as características e nuances desse tipo de pesquisa, conhecer alguns aspectos dos aparatos instrumentais, do processo de preparação de amostras e das condições adequadas para as experiências (medidas de resistividade, susceptibilidade magnética, etc.), da interpretação dos dados, das expectativas e

dos ideais dos pesquisadores consistiu para nós, como já referido, um enorme desafio. Essa experiência é o que passamos a relatar.

II. Alguns conceitos fundamentais da Supercondutividade

O fenômeno da supercondutividade foi observado, pela primeira vez, em 1911, por Heike Kamerling Onnes, após ter conseguido a liquefação do gás hélio, que ocorre a uma temperatura muito baixa, a 4,2 K (OSTERMANN; PUREUR, 2005).

Nessas condições, próximo à temperatura de 4,2 K, Onnes observou que o mercúrio (Hg) conduzia corrente sem resistência elétrica. A interpretação de Onnes para o súbito desaparecimento da resistência foi em termos de uma *transição de fase* de um estado resistivo normal para um *estado supercondutor*, no qual a resistividade é nula quando a temperatura crítica (T_c) é atingida. Essa propriedade foi, no início, atribuída exclusivamente ao mercúrio (Hg). Investigações posteriores mostraram, entretanto, que grande parte dos elementos simples da tabela periódica são supercondutores a baixas temperaturas, inferiores a 9K, em condições de pressão ambiente.

O estado supercondutor apresenta também outra propriedade importante: quando submetido a um campo magnético externo relativamente fraco, em temperaturas inferiores a T_c , o material torna-se um diamagneto perfeito, isto é, ocorre a anulação total da indução magnética de seu interior. Este é o chamado Efeito Meissner¹.

Vários elementos tornam-se supercondutores quando submetidos a pressões elevadas ou quando preparados em condições especiais, por exemplo, na forma de filmes finos ou agregados granulares. A supercondutividade também se manifesta em ligas e compostos intermetálicos, que têm se tornado promissores do ponto de vista tecnológico porque suas temperaturas críticas² são mais elevadas. O composto MgB_2 , por exemplo, atinge a temperatura crítica de 39 K.

¹ O Efeito Meissner foi descoberto por Walter Meissner e Robert Ochsenfeld, em 1933, e é atribuído a supercorrentes induzidas na superfície da amostra em uma espessura tipicamente de 100 nm, que cancelam exatamente a indução magnética do seu interior quando ocorre a transição ao estado supercondutor em $T=T_c$.

² Temperatura Crítica (T_c): é aquela temperatura, bem definida, na qual ocorre uma variação abrupta da resistência elétrica e indica a ocorrência de um fenômeno de transição de fase

Para se obter as baixas temperaturas necessárias, é preciso usar hélio líquido, material caro e pouco eficiente, o que representa um obstáculo importante às tecnologias que buscam explorar o fenômeno da supercondutividade.

Nesse sentido, a década de 80 foi particularmente importante, período em que foi descoberta a supercondutividade de altas temperaturas críticas³ em torno de 100 K. Compostos complexos como o $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_7$ (conhecido entre os pesquisadores simplesmente como YBCO) apresenta uma temperatura crítica de 92 K. Essas descobertas representaram a superação de uma barreira tecnológica fundamental, relacionada com os líquidos refrigerantes criogênicos necessários à produção das baixas temperaturas. O nitrogênio líquido sofre ebulição a 77 K (-196°C). Equivale a dizer que a supercondutividade pode ser observada e estudada a temperaturas ainda baixas, mas acima do ponto de ebulição do nitrogênio líquido, o que é muito mais economicamente vantajoso e mais simples de ser manuseado.

Mais recentemente, a pesquisa em supercondutividade tem-se voltado à busca de diferentes compostos: óxidos, ligas, compostos orgânicos, com temperaturas críticas elevadas. O composto $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ é recorde atual, com uma temperatura crítica de 133 K.

A compreensão e a modelização do fenômeno de supercondutividade é um dos focos da pesquisa atual. É um fenômeno que contrasta fortemente com o comportamento da resistividade elétrica de um metal normal.

Os metais, que constituem a imensa maioria dos elementos químicos da tabela periódica, são modelados do ponto de vista das propriedades eletrônicas em termos de uma função de onda. O metal é pensado como um conjunto de átomos em interação eletrostática residual, ou seja, o núcleo e os elétrons mais internos dos átomos formam o “caroço iônico” e os elétrons mais externos são os “elétrons de valência”. Os elétrons de valência têm a função de onda afetada pela presença dos átomos da vizinhança, mas deslocam-se livremente pelo metal pois, nessas condições, são menos energéticos do que se permanecessem presos ao núcleo do áto-

(que tem certas analogias com uma transição do tipo líquido-gás) no qual as propriedades eletrônicas do material são modificadas (op. cit., p.1/2).

³ A descoberta da supercondutividade em compostos complexos contendo lantânio, bário, cobre e oxigênio foi anunciada em 1986 pelos pesquisadores Karl Alex Müller e Georg Bednorz, em Zurique, Suíça.

mo⁴. O modelo supõe, então, arranjos de caroços iônicos ou redes cristalinas imersas em um “gás de elétrons” (gás quântico dos elétrons de valência) que se propaga livremente pelo volume do metal. Esse modelo leva em conta as condições de contorno periódicas, ou seja, a propagação de um elétron de condução na presença de um campo elétrico (\mathbf{E}) que obedece à periodicidade (simetria) da rede cristalina, formada pelos caroços iônicos. A rede não é um sistema perfeitamente regular, de forma que o elétron colide incessantemente com as imperfeições do cristal. Essa restrição leva à quantização que obedece ao princípio da exclusão de Pauli⁵. O gás de elétrons é adequadamente tratado, portanto, como partículas que obedecem à distribuição estatística de Fermi-Dirac. As soluções para estes sistemas mostram que, embora os elétrons se movimentem com uma velocidade muito grande, a velocidade de Fermi⁶ (em torno de 10^6 m/s), o que torna os metais bons condutores, a velocidade de deriva dos elétrons de condução é pequena devido às colisões com os defeitos, impurezas, imperfeições⁷ ou desvios de uniformidade da rede cristalina.

Quando aplicamos um campo elétrico externo (\mathbf{E}) num metal, a condução elétrica obedece à *lei de Ohm*⁸ e a resistência pode ser entendida em termos da aleatoriedade dos sentidos das velocidades dos elétrons e dos choques destes com as imperfeições da rede cristalina, tal que a velocidade de deriva se dá no sentido oposto ao do campo aplicado.

⁴ O princípio de Heisenberg ($\Delta x \cdot \Delta p = \hbar$) garante que os elétrons de valência que podem circular livremente pelo metal estejam em estado de menor energia, ou seja, pequenos deslocamentos implicariam grande energia cinética.

⁵ O princípio da exclusão de Pauli é um dos mais fundamentais da teoria quântica. Ele garante que a distribuição de partículas é tal que cada estado quântico não é ocupado por dois elétrons com números quânticos iguais.

⁶ Nessa representação, a energia dos elétrons é quantizada e a Energia de Fermi (ou velocidade de Fermi) é o nível máximo de energia, em que os elétrons de valência podem adquirir velocidades muitas vezes maiores do que a velocidade dos caroços iônicos.

⁷ As imperfeições da rede cristalina podem ter várias naturezas: vacâncias (um átomo que salta para a superfície); interstício (átomo que muda de lugar, desalinha-se); deformação plástica (deslocamento de uma camada atômica sobre as outras).

⁸ Lei de Ohm: $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$, aonde \mathbf{j} é a densidade de corrente, \mathbf{E} é o campo elétrico e σ é a condutividade elétrica (propriedade específica de cada metal).

Isso não ocorre nos supercondutores. O *estado supercondutor* é um estado dominado por efeitos de correlações que são energeticamente favoráveis a baixas temperaturas. A supercondutividade é uma característica intrínseca dos materiais: quando resfriados a temperaturas críticas, transitam para o *estado supercondutor* e passam a conduzir corrente elétrica sem perdas.

Durante algum tempo se pensou que todos os materiais supercondutores tivessem o mesmo comportamento. Mas a resposta diferenciada dos supercondutores à presença de um campo magnético externo levou os pesquisadores a classificá-los em dois tipos: os de *Tipo I*, que abrange a maior parte dos supercondutores metálicos formados por elementos puros, os quais apresentam o estado Meissner normal quando um campo magnético crítico (B_c) é aplicado, sendo que abaixo do campo crítico não há penetração de fluxo magnético; os de *Tipo II*, abrangendo metais impuros, ligas, compostos intermetálicos e todos os compostos cerâmicos, apresentam dois campos críticos (B_{c1} e B_{c2}). A anulação total do fluxo magnético acontece abaixo do campo crítico inferior B_{c1} . Na região entre os campos críticos B_{c1} e B_{c2} a penetração do fluxo magnético é parcial e a supercondutividade mantém-se até ser atingido o campo crítico superior B_{c2} , acima do qual o material transita para o estado normal. Este estado intermediário é chamado *estado misto* ou *estado de vórtices*⁹. A vantagem tecnológica é que o campo crítico superior, que depende da temperatura, é muito elevado em alguns supercondutores do *Tipo II*.

As aplicações tecnológicas da supercondutividade são variadas: construção de bobinas com fios supercondutores que possibilitam gerar campos magnéticos intensos, os quais seriam impraticáveis se fossem utilizados fios comuns, como por exemplo o cobre. Essas bobinas podem ser usadas na construção de MagLevs (trens que levitam), aparelhos de ressonância magnética em hospitais (geram um campo magnético homogêneo na região onde o paciente é colocado e um sensor capta informações que formarão as imagens), toróides de supercondutores para armazenar energia nos campos magnéticos (funcionam como *nobreak* de alta capacidade, para uma cidade ou grande indústria), entre outras aplicações.

⁹ Estado de Vórtices: a distribuição do campo magnético no interior dos supercondutores do tipo II apresenta regiões normais e regiões supercondutoras. As regiões supercondutoras apresentam uma estrutura peculiar, em forma de vórtices: caroços cilíndricos retílineos e paralelos às linhas de campo, que se distribuem regularmente no material já que se repelem uns aos outros. Os vórtices representam a manifestação macroscópica do comportamento quântico, ou seja, em cada vórtice passa exatamente um quantum de fluxo magnético.

III. A Teoria Microscópica da Supercondutividade atualmente aceita pela comunidade científica

O modelo do “gás de elétrons” que se ajusta bem para os metais normais não serve para explicar a supercondutividade. A ideia básica é que os elétrons não podem ser tratados como partículas independentes. A supercondutividade é um fenômeno coletivo. A teoria microscópica atualmente aceita pressupõe que os elétrons se organizam em pares com energias próximas, momentos lineares de mesmo módulo, porém de sentidos opostos, *spin* total nulo e apresentam interação atrativa indireta.

Explicitando: dois elétrons que se propagam num composto supercondutor em sentidos opostos vão interagindo com os íons da rede cristalina e produzindo uma deformação local, ou seja, quando os elétrons (negativos) passam, atraem os íons (positivos) da rede, provocando uma pequena deformação. Como os elétrons têm velocidades muito grandes comparadas às velocidades iônicas, podem deixar um rastro de carga positiva que passa a atraí-los de volta num constante ir-e-vir, como se houvesse uma fraca força de atração entre os dois elétrons. Tal atração é, portanto, indireta e pode produzir um par de elétrons ligados, de momentos lineares e *spin* opostos, que recebe o nome de *par de Cooper*¹⁰.

A interação dos elétrons com as vibrações da rede cristalina é um processo quântico chamado *interação elétron-fônon*¹¹. Essa interação atrativa é mediada pela troca de um fônon; é fraca e, por isso, os elétrons de um par de Cooper tendem a estar a distâncias muito grandes em relação à distância típica entre os íons da rede cristalina. Assim, o estado supercondutor envolve milhões de pares de Cooper imbricados, tal que a supercondutividade pode ser entendida como um fenômeno quântico macroscópico descrito por uma única função de onda. Existe uma interdependência importante entre os pares de Cooper e que caracteriza o comportamento coletivo. Em outras palavras, *a ideia de que os pares de Cooper num supercondutor formam um condensado fortemente correlacionado é a essên-*

¹⁰ *Pares de Cooper* são atribuídos a Leon Cooper que, em 1956, teve a idéia de que os elétrons que transportam a “supercorrente” associam-se em pares enquanto se deslocam pelo material.

¹¹ Interação elétron-fônon: os pares de elétrons interagem através da troca de um fóton, que é emitido por um dos elétrons do par e absorvido pelo outro. Por isso, diz-se que o fóton é *virtual*, tem a função de produzir atração entre as partículas. As oscilações da rede cristalina podem ser entendidas como um gás de excitações quantizadas denominadas *fônons*. Estas excitações mediam a interação atrativa dos pares de Cooper.

cia da teoria microscópica da supercondutividade (op. cit., p. 35). Essa teoria é conhecida como teoria BCS e foi proposta, em 1957, por John Bardeen, Leon Cooper e J. Robert Schriffer.

A teoria BCS da supercondutividade é uma teoria fenomenológica e foi proposta mais de 40 anos após a descoberta da supercondutividade, o que sugere que o processo de construção de hipóteses explicativas é, às vezes, bastante lento e busca explicar fenômenos intrigantes ou eventos observados e ainda não compreendidos. Mas nem sempre as coisas acontecem dessa forma. Moreira (2007) afirma que *muitas vezes se pensa que as teorias físicas são elaboradas para explicar observações (...). Parece lógico, mas não é assim. Há uma interdependência, uma relação dialética, entre teoria e experimentação. (...). A física de partículas, em particular a teoria dos quarks, é um belo exemplo disso. O que levou Gell-Mann e Zweig¹² a postularem a existência dos quarks foi uma questão de simetria (o caminho óctuplo) e o que reforçou a aceitação de sua proposta foi uma questão de assimetria – por que tão poucos léptons (partículas leves) e tantos hádrons (partículas pesadas)?* Esses exemplos ilustram um aspecto importante levantado pela epistemologia contemporânea: a inexistência de um “método científico” único, explícito ou definitivo, capaz de levar o cientista à descoberta de teorias científicas, como desejavam os positivistas¹³. A moderna ciência é multiface: ora a observação de um fenômeno novo desafia o cientista a propor teorias criativas, novas e elegantes; ora guiado por questões de simetria ou pela consistência matemática e teórica, o cientista é instigado a construir hipóteses e a prever objetos e fenômenos que somente tempos mais tarde podem ser detectados experimentalmente. *Uma alimenta a outra, uma dirige a outra* (op. cit.), esta parecer ser a relação entre teoria e experimentação.

No dizer de Maturana (2001), nossa convivência e permanente interação com o meio (social e material) nos perturba, ao mesmo tempo em que nós próprios geramos perturbações ao meio. A capacidade de nos adaptarmos nos distingue como seres vivos. É nessa relação que surge a linguagem (própria de cada área específica), ou seja, a experiência nos acontece e nós tentamos explicá-la. As ex-

¹² Os físicos Murray Gell-Mann e George Zweig propuseram, independentemente, que algumas partículas fundamentais do núcleo atômico, prótons e nêutrons, eram *formadas por partículas ainda mais fundamentais que ficaram conhecidas como quarks* (Moreira, 2007, p. 163).

¹³ Positivismo: doutrina filosófica fundada por Augusto Comte será retomada mais adiante, neste texto.

plicações científicas constituem uma classe dessas explicações e, em geral, são o resultado de um processo lento e evolutivo.

Embora a teoria BCS descreva bem as supercorrentes, o efeito Meissner, o campo magnético crítico, o salto do calor específico na T_c e outras propriedades, ela se mostra insuficiente para descrever o estado supercondutor dos novos cupratos supercondutores¹⁴ de alta temperatura crítica. Assim como a teoria do “gás de elétrons” não se mostra eficiente para descrever as propriedades eletrônicas do estado normal destes materiais.

O cuprato mais famoso é o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, que apresenta temperatura crítica próxima de 100K. É preparado na forma cerâmica por um processo relativamente simples e, por isso, é um dos materiais supercondutores mais estudados atualmente.

A complexa estrutura cristalina dos cupratos sugere que eles tenham aspectos e propriedades bastante interessantes e, em grande medida, desconhecidas. Algumas dessas propriedades já bem conhecidas é a intensa anisotropia planar – os planos formados por CuO_2 contêm elétrons de grande mobilidade – e uma forte interação mútua entre os elétrons móveis, por exemplo.

Existem, no entanto, muitas dificuldades para a formulação de uma descrição teórica do estado supercondutor desses sistemas. Inclusive, existem dúvidas sobre a origem do mecanismo de pareamento via troca de fônons que, teoricamente, não poderia produzir altas temperaturas críticas. Dúvidas sobre a aplicabilidade da teoria BCS aos cupratos e sobre a compreensão de suas propriedades eletrônicas têm estimulado a proposição de diferentes hipóteses teóricas.

Todas essas questões constituem, com certeza, um campo fértil para uma profunda reflexão epistemológica.

IV. Como se faz pesquisa em um moderno laboratório de Física?

Alguns meses de interação no laboratório de supercondutividade permitiu-nos perceber que, para ser pesquisador na física da matéria condensada, é preciso, antes de tudo, como em muitas outras especialidades, um importante e

¹⁴ Os cupratos supercondutores são compostos com estruturas cristalinas complexas contendo 4 a 5 átomos de natureza diferente cujo aspecto básico é uma seqüência de planos atômicos paralelos com composição CuO_2 . Essa característica da estrutura cristalina é responsável pela anisotropia planar, ou seja, a condutividade é maior na orientação paralela aos planos de CuO_2 do que na orientação perpendicular a estes planos.

relativamente longo período de convivência, trabalho, estudo e aquisição dos jargões próprios da área, que provavelmente o filósofo da ciência Toulmin (1977) chamaria de processo de enculturação¹⁵. Falar em monocristais, anisotropia, cupratos, YBCO, criostatos, pares de Cooper, susceptibilidade magnética, resistividade é algo comum para um pesquisador em supercondutividade, mas certamente uma linguagem pouco compreensível para quem não é da área. Mesmo para os pesquisadores da área, a compreensão conceitual, a habilidade no manuseio dos equipamentos e instrumentos necessários ao preparo das amostras e das condições ideais para a realização das experiências, bem como o domínio dos programas computacionais que controlam as experiências, são um permanente desafio e um processo de aprendizagem constante.

Nosso contato com alguns pesquisadores do laboratório de supercondutividade sugeriu que são necessários vários anos de preparação: começa com a *iniciação científica* quando os alunos de graduação em Física têm seus primeiros contatos com o laboratório, reconhecem os instrumentos, aprendem a lidar com os programas de computador que gerenciam as experiências, cuidam de detalhes eletrônicos, de adaptações e outras tantas atividades; além, é claro, de estudar com profundidade os aspectos teóricos da área e manterem-se atualizados com relação às descobertas e publicações mais recentes em nível mundial. Seguem depois no *mestrado*, período que se estende por dois ou três anos durante os quais se dedicam a alguma pesquisa específica. Concluem seu treinamento no *doutorado*, onde uma pesquisa mais profunda é desenvolvida, em geral, buscando descrever em detalhes novas propriedades dos materiais supercondutores, analisando o comportamento de amostras com novas ou levemente diferenciadas estruturas, estudando amostras já conhecidas sob diferentes condições físicas (temperatura, pressão, etc.).

Como já mencionado, o intercâmbio permanente com as pesquisas realizadas nos principais laboratórios do mundo é fundamental. É preciso estar atualizado, através dos meios eletrônicos e dos periódicos, acompanhar as novas “descobertas” e trabalhar em sintonia com as principais correntes atualmente aceitas pela comunidade científica internacional. Mesmo a reprodução de experiências já publicadas é uma atividade importante para a Física Contemporânea, pois quando vários laboratórios em diferentes países concordam, manipulam, utilizam e reutilizam resultados de hipóteses novas, elas passam a ganhar adesão e credibi-

¹⁵ O conjunto dos conceitos e procedimentos representativos de uma ciência transmite-se através das gerações por um processo de *enculturação*, ou seja, são aprendidos na convivência cultural, segundo Stephen Toulmin (1977).

lidade. O contrário também pode ocorrer, isto é, resultados experimentais repetidamente desconfirmados colocam a nova hipótese teórica em descrédito.

Contudo, tornar-se respeitado e reconhecido na área de pesquisa parece estar diretamente associado à produção científica, ao número de publicações relevantes. Se por um lado publicar aumenta a chance de ser citado, o que aumenta o *status* de um cientista individual ou de um grupo de pesquisa, por outro, as publicações permitem o debate e a crítica e, com isso, quem ganha é a Ciência, porque ideias equivocadas ou fantasiosas acabam sendo controladas e abandonadas. A teoria precisa fornecer explicações claras e fazer previsões possíveis de serem verificadas através de testes empíricos por outros pesquisadores. Esta parece ser uma característica fundamental do conhecimento científico e muito provavelmente a linha demarcatória entre o genuíno conhecimento científico e outros tipos de conhecimento. Foi Karl Popper (1902-1994) quem primeiro defendeu a refutabilidade como critério de demarcação entre ciência e não-ciência. A partir de seu trabalho, vários outros filósofos da ciência abordaram esse tema, matizando-o sem grandes alterações.

V. Como é o cotidiano e em que consiste o trabalho do pesquisador moderno?

Para tentar compreender essas nuances, procuramos acompanhar e interagir com alguns pesquisadores do laboratório de Supercondutividade e Magnetismo, que passamos a identificar:

PESQUISADOR 1 (usaremos a sigla PESQ1): trabalha com medidas de magnetização em compostos supercondutores complexos a temperaturas acima da temperatura crítica (200 a 300 K) e submetidos a intensos campos magnéticos. O objetivo é buscar novas propriedades magnéticas que possam contribuir para explicar o estado pré-supercondutor. As medidas são realizadas com um sensor SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) que permite realizar medidas magnéticas extremamente sensíveis. Essa sensibilidade do equipamento exige uma cuidadosa rotina de preparação e limpeza da amostra e mensuração do sinal do próprio porta-amostra a fim de avaliar possíveis perturbações, uma vez que o sinal da amostra é muito pequeno.

O SQUID funciona com hélio líquido. Por se tratar de um elemento caro, o laboratório é equipado com tubulação especial para recuperação do gás He e posterior reliquefação. Essa é uma das dificuldades técnicas importantes no estudo da supercondutividade, pois o SQUID deve ser monitorado para funcionar sempre

com uma quantidade mínima de He. A liquefação do He não é um processo rápido e, às vezes, é preciso abortar todas as operações para reabastecimento do equipamento. Abastecido, o SQUID funciona por aproximadamente 3 dias e 3 noites ininterruptas, executando uma rotina de atividades previamente programada pelo pesquisador. No caso do PESQ1, as medidas experimentais eram programadas fixando-se a temperatura em diferentes valores entre 95 e 300K e variando-se o campo magnético. Depois era feito o contrário, fixando-se o campo em alguns valores (por exemplo: 8KOe, $1T^{16}$, 2T, 3T, 4T, ...), era variada a temperatura. O conjunto de medidas era realizado em pelo menos duas posições distintas da amostra: uma com os planos cristalinos alinhados ao campo aplicado e outra na posição perpendicular. Isso se deve, como mencionado, ao conhecimento que já se tem de que os compostos supercondutores complexos apresentam intensa anisotropia planar.

As dificuldades eram relacionadas com o preparo da amostra: limpeza, desoxidação, centralização e o correto alinhamento no porta-amostras do SQUID. Tudo isso levando em conta que a amostra tem um tamanho de alguns milímetros. Tomadas essas precauções, introduzida a amostra e acionado o programa, o SQUID realiza as medidas automaticamente e fornece as curvas da susceptibilidade magnética em função da temperatura e do campo magnético. Refazer as medidas várias vezes com a mesma amostra e também com diferentes amostras do mesmo material parece ser uma providência capaz de fornecer ao pesquisador maior grau de segurança na base empírica. A amostra pequena submetida a campos magnéticos intensos pode sofrer leve inclinação e distorcer os resultados. Uma suspeita dessa natureza pode levar o pesquisador a refazer todo um conjunto de medidas experimentais e embora, às vezes, o próprio pesquisador não acredite que resultados não esperados possam ser atribuídos a esse fator, a tendência criteriosa para a minimização de erros leva-o a refazer as medidas.

PESQ1: Todas as fontes de erro devem ser consideradas e às vezes assumem proporções tão importantes que o pesquisador desacredita dos dados empíricos exatamente porque espera algum resultado, com base nos seus conhecimentos anteriores...

O SQUID é um equipamento caro e raro, por isso a concorrência para seu uso é grande. Pesquisadores de outras universidades e de outros países candidatam-se para a realização de medidas de magnetização em diferentes

¹⁶ T é unidade de medida de indução magnética no Sistema Internacional, *Tesla*.

materiais e sob diferentes formas (filmes finos, granulados, *clusters* de nanopartículas imersas em substratos, etc.). Quase sempre o objetivo é idêntico: procurar novas propriedades, novos comportamentos, novas possibilidades de aplicação, etc. Enfim, uma disputa que pode paralisar temporariamente o trabalho do pesquisador, sem contar as interrupções por falta do hélio para reabastecer o equipamento.

Diante desse panorama do cotidiano do laboratório e decorridas algumas semanas entre a realização de dois conjuntos de medidas, o PESQ1 mostrava-se, finalmente, satisfeito com os resultados: as curvas indicavam anisotropia do composto quando submetido a temperaturas altas e sob campos magnéticos intensos. Cada detalhe poderia revelar alguma característica, mostrar indícios de alguma propriedade nova ou algo que pudesse vir a ser decisivo na hipótese de pesquisa.

Com as curvas das medidas fornecidas pelo SQUID nas mãos, numa fria manhã de junho, o PESQ1 demonstrava sinais evidentes de alegria. Clara manifestação de que as expectativas e os ideais do pesquisador se confundiam com a emoção. A paixão pelo explicar, por desvendar aspectos íntimos de uma natureza microscópica da matéria, que não pode ser vista diretamente, é um incentivo para a continuidade do trabalho. O pesquisador é um ser humano movido invariavelmente pela emoção, geradora de mais e mais dedicação, persistência e uma quase entrega absoluta, em alguns casos.

Outro aspecto que consideramos importante, do ponto de vista epistemológico, foi quando o PESQ1 buscou reproduzir resultados experimentais obtidos e publicados por pesquisadores franceses, fazendo uso da mesma amostra utilizada na França e remetida ao Brasil. A pesquisa atual parece realmente assumir o caráter de uma construção coletiva, uma Física que transcende às fronteiras territoriais e políticas. Os meios eletrônicos e as facilidades de comunicação e interação entre os pesquisadores favorecem enormemente essa tendência, ainda que, tudo indica, exista uma inevitável corrida pelas novidades científicas ou “descobertas”. Em outras palavras, quem publica primeiro um novo fenômeno importante ou uma nova explicação plausível e consistente adquire os méritos do reconhecimento da comunidade científica internacional e conquista, muito provavelmente, os louros da imortalidade acadêmica. Isto, mais uma vez, sugere uma face da ciência como uma atividade genuinamente humana e, por isso mesmo, não desconectada dos sonhos e ideais de homens e mulheres que a ela se dedicam.

PESQUISADOR 2 (PESQ2): estuda o comportamento da resistividade de amostras de compostos YBCO a baixas temperaturas, porém sob altas pressões

geradas através de prensas mecânicas. O objetivo é investigar a possibilidade de, sob condições físicas diversas, aumentar a T_c do composto supercondutor.

As medidas eram realizadas em criostato, que utiliza hélio líquido revestido por uma parede de nitrogênio líquido para aumentar a eficiência e a durabilidade do hélio. As dificuldades eram de ordem operacional no sentido de preparar tanto a amostra quanto o recipiente destinado a receber a amostra. A amostra precisa ficar imersa em fluido especial, a fim de evitar o estilhaçamento ao ser submetida a altas pressões. Para medir a resistividade nessas condições, todas as ligações que conectam a amostra, os termômetros (*carbon-glass* e de platina) e a bobina são meticulosamente preparados; fios condutores finos e sensíveis são cuidadosamente adaptados através da cana que é inserida no criostato ligando a amostra aos receptores de sinal.

A amostra é usada repetidas vezes, e frequentemente também é recebida de outros países ou de outros laboratórios. Como o composto oxida facilmente, a amostra precisa ser testada, lixada, desoxidada até atingir condições adequadas (baixa resistência em condições normais). Depois disso, deve ser mantida em ambiente protegido de umidade; é preciso confeccionar o recipiente para conter o fluido onde é mergulhada a amostra a ser submetida a altas pressões. Às vezes, o trabalho de dias é perdido porque a amostra se rompe. Tudo isso é um ritual que em muito lembra os procedimentos de preparação cirúrgica. O objetivo é minimizar o erro e aumentar ao máximo a precisão dos dados experimentais.

PESQ2: Buscamos novas propriedades com base em artigos recentes publicados na área. Mas quando os resultados não são os esperados, com base na segurança que temos de que os dados experimentais estão corretos, supomos propriedades totalmente novas, novos estados, etc.

Após quase dois meses, finalmente o PESQ2 conseguiu realizar um conjunto de medidas. E os resultados? Nada é possível concluir. Novas e mais medidas precisam ser feitas para verificar se há reprodutibilidade, para avaliar o erro, para identificar regularidades. O criostato desabastecido de hélio, a demora para repetir as medidas não escondiam um sentimento de desapontamento por parte do pesquisador, ansioso por novos resultados para, finalmente, poder passar para a fase de interpretação dos dados. Mas ainda era tempo de esperar pacientemente a dotação de recursos para recolocar o equipamento a funcionar e recomeçar tudo outra vez. Não era momento de desanimar. Uma espera paciente e um recomeçar constante também parecem ser características da pesquisa científica atual, onde cada detalhe pode ser decisivo, mas em contrapartida, cada sonho precisa ser mantido vivo, dia após dia.

PESQUISADOR 3 (PESQ3): investiga a resistividade, a magnetoresistência e o Efeito Hall em compostos complexos como ruteno-cupratos ($\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$, comumente denominado Ru1212 com base na estequiometria do composto). A estratégia é mudar o composto substituindo, por exemplo, o elemento Sr por Co e mapear o comportamento do novo composto. O objetivo é tentar compreender o fenômeno da supercondutividade e do magnetismo nesses sistemas complexos com a expectativa de aumentar a T_c .

As medidas eram realizadas em criostato idêntico ao utilizado pelo PESQ2 e a magnetização era medida utilizando-se o SQUID.

PESQ3: Procuramos interpretar os resultados com base na teoria existente. Quando a teoria não explica os resultados encontrados, eles são atribuídos a propriedades anômalas.

As dificuldades eram relacionadas com os aparatos instrumentais e eletrônicos, pois o criostato utilizado nas medidas de resistividade não era automatizado como o SQUID. Por isso, as coisas não são tão simples. É preciso calibrar os termômetros¹⁷, ajustar programas de computador buscando automatizar a coleta de dados ao máximo para evitar anotações manuais e, assim, minimizar o erro. Essas atividades demoram dias, às vezes semanas, e, quando tudo parece pronto, algum detalhe inesperado pode adiar por dias a experiência. O pesquisador pacientemente recomeça então a minuciosa rotina de “checagem” até que esteja convencido de que tudo está funcionando, em sua avaliação, em perfeitas condições.

A questão das anomalias, colocada pelo PESQ3, é abordada pelo filósofo da ciência Thomas Kuhn (1922-1996): quando as anomalias são tantas que geram insatisfação com a teoria (ou paradigma) vigente, o terreno torna-se propício para mudanças ou mesmo emergência de nova teoria (ou novo paradigma) e assim progride a ciência.

¹⁷ Mais de um termômetro é usado na mesma experiência; por exemplo, termômetro de platina é mais eficiente para temperaturas altas (≈ 110 K) enquanto o termômetro *carbon-glass* é mais preciso a baixas temperaturas (≈ 40 K). A calibração é feita utilizando-se um termômetro calibrado pelo fabricante. Este último não é usado nos experimentos por ser sensível, por correr riscos de danos e por ser muito caro. Por essas razões, só é usado para calibrar os termômetros montados no próprio laboratório, muito mais baratos e de fácil acesso. Contudo, o processo demanda tempo e dedicação por parte do pesquisador.

VI. Quais os desafios da pesquisa científica experimental do século presente?

Um dos grandes desafios da Física do microcosmo talvez seja que a medição e controle das grandezas físicas de interesse não é direta. Não se consegue ver partículas elementares, nem a rede cristalina, nem medir temperatura ou resistividade diretamente. Todas as medidas são indiretas: mede-se corrente e voltagem para se obter a resistência; a resistência é comparada com a temperatura, que é tabelada; no SQUID, por exemplo, mede-se o momento magnético para se obter a magnetização e a susceptibilidade magnética. Além, é claro, dos desafios de natureza operacional: é preciso confeccionar suportes, roscas, plaquetas, recipientes para conter as amostras, furos milimétricos, contatos com condutores da espessura de fios de cabelo, tudo meticulosamente testado. A escassez de recursos financeiros para a compra de instrumental é um dos motivos, muitas vezes, de atrasos e contratemplos. Todo o processo de preparação das experiências: amostras, contatos elétricos, testagem do equipamento eletrônico e ajuste de programas computacionais constitui um intrincado quebra-cabeças operacional e científico.

A questão da precisão das medidas e da minimização do erro, que nem de longe é uma preocupação específica da Física Experimental Contemporânea, pois a preocupação com a fidelidade dos dados e a reprodutibilidade dos experimentos é, com certeza, uma das primeiras lições de todo aprendiz de Física Experimental há pelo menos dois séculos de espetacular avanço da Física, não deixa de ser também aqui um conceito chave. Da confiança que o pesquisador tem nos seus dados é que podem surgir novas hipóteses, novos comportamentos, novas propriedades, muitas vezes fundamentais para fechar todo um quebra-cabeças de uma área de pesquisa. Do contrário, os dados são considerados imprecisos e deles nada se pode esperar de muito promissor e as experiências são retomadas. A inclusão nos programas que controlam os criostatos de tabelas que fazem a conversão da resistência em temperatura, por exemplo, é um trabalho cansativo mas importante. Ajustes nos programas que visam a controlar temperatura e resistência através de um único multímetro, com vários canais (temperatura e resistência para termômetros distintos: platina, *carbon-glass*, por exemplo) é, muitas vezes, uma providência que demora semanas e objetiva, novamente, diminuir a intervenção humana e aumentar a confiabilidade nos dados.

Tudo isso suscita uma reflexão epistemológica importante. As experiências nessa área, por mais instrumentalizadas que possam ser, parecem sempre assumir o caráter de uma investida rumo ao desconhecido. Ainda assim, a mola

propulsora de todo o trabalho de laboratório parece estar associada às expectativas e aos ideais do pesquisador. É um acontecimento raro obter dados inesperados persistentes que levem a descobertas casuais. Na maioria das vezes, o pesquisador tem ideias mais ou menos precisas de aonde quer chegar e quais as sequências de dados experimentais ele deve considerar ou quais deve descartar, com base em teorias e resultados anteriores. Em outras palavras, via de regra, o pesquisador tem ideia do que está buscando e aonde quer chegar baseado nos seus pressupostos teóricos e nos resultados de outros laboratórios. Não há, no entanto, garantia de que os achados sejam como o planejado. A matéria pode mostrar outra face da realidade quando submetida a diferentes condições, e nisso parece residir a beleza do trabalho científico. Sempre há lugar para novas perguntas.

A pesquisa experimental é, nesse sentido, um exercício de paciência e perseverança que muitas vezes leva o pesquisador a trabalhar fins de semana inteiros, depois de tudo testado e pronto, a fim de concluir um conjunto de medidas. Não dá para deixar para depois. No dia seguinte pode não haver hélio, ou nitrogênio, ou disponibilidade de equipamento e as medidas ficariam incompletas.

Só depois é chegada a hora de interpretar os dados. Um conjunto de curvas nas mãos do pesquisador é sempre uma esperança. Pontos distoantes podem ser um erro de medida, um defeito no equipamento, um problema com a amostra. Mas podem muito bem estar mostrando um novo comportamento da matéria. Basta estar atento. É sempre uma atitude criativa construir um modelo coerente e novo. Na dúvida, retorna-se ao laboratório e recomeça-se tudo outra vez. Quer ocorra reprodutibilidade dos dados ou repetidas desconfirmações, dependerá da imaginação do pesquisador dar um passo adiante.

De qualquer forma, é sempre uma busca incansável feita de tentativas e erros. Uma impureza incorporada na preparação da amostra e tudo pode aparecer diferente do esperado, e nem por isso um insucesso, ao contrário, uma casualidade dessas, embora rara, pode revelar novas propriedades interessantes. Em outras palavras, a natureza, parece-nos, segue sendo complexa, misteriosamente linda e fascinante. Porém, nem um pouco interessada em mostrar sua intimidade. O pesquisador é quem prepara, cada vez mais, engenhosas investidas tentando adentrar para ordens mais profundas e assim explicar melhor o mundo, aproveitar melhor as propriedades da natureza, num processo que, ao que parece, prescinde de métodos pré-determinados, mas não de perseverança, criatividade e paixão, como aliás, em qualquer outra área de pesquisa.

Tentativa e erro, contudo, não representam uma contradição em relação à toda Física já produzida e bem aceita. Ao contrário, as experiências são planejadas

com bases cuidadosamente coerentes com a Física já estabelecida. Ela é quem dá suporte teórico e técnico à nova pesquisa. A fronteira do conhecimento, essa sim, sempre parece ter um aspecto inusitado e imprevisível.

VII. Visões dos pesquisadores: uma breve análise

Nossa estada no laboratório de supercondutividade foi, sem dúvida, uma experiência enriquecedora. Dessa experiência surgiram algumas evidências e outras tantas reflexões que passamos a expor ao longo dessa breve análise.

Procuramos apresentar nossas impressões, adquiridas ao longo de alguns meses de convivência e observação no laboratório, confrontando-as com as visões dos próprios pesquisadores e destacando aspectos importantes das chamadas visões epistemológicas contemporâneas. Para isso, fizemos entrevistas com quatro pesquisadores (um professor-pesquisador e três pesquisadores-doutorandos). As entrevistas foram semi-estruturadas e tiveram por base um questionário contendo dez perguntas, mostrado no Quadro 1, previamente validado por três outros pesquisadores da área do ensino de Física da UFRGS.

Quadro 1 - Roteiro da entrevista semi-estruturada com pesquisadores do Laboratório de Supercondutividade, 2º semestre de 2007, UFRGS.

Item	Questão
1	É possível observar, no laboratório, uma série de questões associadas a aspectos práticos e operacionais como preparação de amostras, calibração de termômetros, preparação e modificação do instrumental eletrônico e dos programas que controlam os experimentos. Você entende que a construção de novas teorias depende da moderna tecnologia? Em que medida?
2	De sua óptica, em que consiste o trabalho do pesquisador experimental?
3	Existe alguma sequência, da perspectiva do pesquisador, com relação ao seu trabalho: teoria seguida da experimentação; ou experimentação seguida de teoria?
4	Em que medida o pesquisador consegue confiar nos seus dados experimentais?
5	Há o risco de ocorrerem erros importantes nas medidas, de forma a conduzir a hipóteses teóricas equivocadas?
6	Em sua opinião, quem é mais decisivo para avanço da ciência: a crítica da comunidade científica ou os resultados/dados experimentais?

7	Você entende que a Física Contemporânea seja uma atividade cooperativa entre as comunidades científicas internacionais e nacionais?
8	Também foi possível observar que, muitas vezes, o pesquisador não obtém reprodutibilidade dos resultados ou estes não coincidem com o esperado. Você entende que o cientista, de maneira geral, tem uma ideia do que vai encontrar quando realiza uma experiência?
9	Do ponto de vista epistemológico, diz-se que a ciência tem natureza provisória, no sentido de que teorias bem confirmadas hoje podem não se mostrar válidas amanhã. Como você vê essa questão?
10	Como você define Ciência ou Física ou, como o conhecimento científico, da sua óptica, se distingue de outros tipos de saberes?

Passamos, a seguir, a apresentar os aspectos que julgamos mais relevantes das falas dos pesquisadores, tentando obter o grau de concordância de suas visões com as perspectivas epistemológicas contemporâneas e nossas próprias inferências.

Quadro 2 - Transcrições parciais de respostas à questão 1.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>Acho que sim. (...) A Física é uma ciência empírica, baseada no fato experimental. Então, em geral, a teoria é fundamentada na realidade, no fato experimental e ela vem sempre após a descoberta. Embora existam teorias que são suficientemente poderosas que permitem antever ou prever certos fenômenos. (...) Mas na Física que nós fazemos aqui, particularmente, que é a Física da Matéria Condensada, Supercondutividade, normalmente a experiência antecede a teoria. (...) Os avanços tecnológicos permitem que se façam experiências com mais precisão, mais detalhamento (...) descoberta de novos fatos,</i>
PESQ. 1	<i>Concordo. (...) A princípio, através do experimento você consegue enxergar aquilo que você está querendo ver. O experimento é fundamental e vai depender da nova tecnologia, também. (...) Na experimental preciso ter um ambiente ideal, ou pelo menos mais próximo do ideal para trabalhar e da mesma forma meu equipamento.</i>
PESQ. 2	<i>Acredito que sim porque a prática manual das coisas vai abrindo</i>

	<i>o campo de visão (...) desde a fabricação da amostra até o cesso eletrônico e a obtenção de respostas. O avanço tecnológico serviu justamente para facilitar. Se a gente tivesse a cada experiência que renomear (...) seria uma coisa interminável. (...)</i>
PESQ. 3	<i>(...) Nas medidas de transporte dependemos muito dos equipamentos. Eu desconfio muito. Às vezes eu meço e a primeira coisa que faço é desconfiar se aquilo que eu estou medindo é realmente fruto de uma propriedade da amostra ou se não é algo do equipamento, um fio com mau contato, um campo magnético que deveria ser zero. (...) Comparo com outras medidas que acredito sejam mais precisas.</i>

Os pesquisadores entrevistados são unânimes com relação à relevância da tecnologia no avanço da Física Contemporânea. Além de permitir novas experiências com expectativas de “descoberta” de novas propriedades, novos comportamentos da matéria, o moderno instrumental parece estar intimamente ligado a algo muito mais crucial, inerente à pesquisa experimental: a precisão. Da precisão das medidas depende a confiança nos dados. O aparato tecnológico pressupõe muita teoria bem estabelecida em vários campos da Física e os pesquisadores não deixam dúvidas de que sabem disso. Entretanto, quando se referem aos sistemas sobre os quais eles se debruçam, parecem acreditar que o fato experimental, a observação, o experimento em si, são definitivos e fundamentais para o avanço do campo de pesquisa.

Os pesquisadores destacam que o trabalho experimental envolve um longo período de preparação, aquisição de habilidades, domínio dos equipamentos e dos sistemas sob investigação. Trata-se de um processo de aprendizagem com os pares. Mesmo quando adquiridas essas habilidades, não implica ter aprendido algum método à semelhança do “método científico” mas, muito mais, parece dotar o pesquisador de certa segurança necessária para poder se arriscar em novos desafios, novas propostas, em geral, baseadas no método de tentativa e erro. Esse parece ser o método mais usual quando se está na fronteira do conhecimento.

Quadro 3 - Transcrições parciais de respostas à questão 2.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF.PESQ.	<i>(...) Acho que um experimental tem que ter habilidades bem versais, digamos assim (...) Ele tem que ter familiaridade com o equipamento, conhecer profundamente, detalhadamente como</i>

	<i>funciona. (...) Tem que conhecer muito bem o sistema que ele está investigando: saber preparar a amostra em questão, saber caracterizá-la para depois poder interpretar os resultados. (...) Então, tem que ter domínio do equipamento, domínio da amostra e isso implica certa habilidade manual, ou seja, muito trabalho. (...) E é no método de tentativa e erro. (...) Tem que ter mento teórico para poder enxergar o fenômeno que está por trás. (...) O processo de formação de um cientista é muito longo, muito demorado...</i>
PESQ. 1	<i>Considero que o trabalho experimental é o lado prático da ciência. (...) é a Física colocada de forma prática, (...) o físico experimental tem que ter habilidade para trabalhar em laboratório, tem que ter vocação (...) envolve criatividade, gostar de fazer o experimento, gostar de ter problemas e solucionar esses problemas (...) tem que montar desde o equipamento, toda a montagem, as medidas. (...)</i>
PESQ. 2	<i>O trabalho experimental tem que ser, em primeiro lugar, de muita paciência, observação porque a gente chega cru. (...) Recebe aquele maquinário, aquela situação e tenta andar com as próprias pernas (...), é um trabalho difícil, que exige paciência (...) a probabilidade de alguma coisa não dar certo nesse percurso é grande. A gente vai se habituando e inclusive aprendendo com os próprios erros.</i>
PESQ. 3	<i>(...) aproveitei a Iniciação Científica para realmente ver o que eu gosto na Física, trabalhei em outro laboratório, trabalhei com dois físicos teóricos. (...) Nos últimos semestres do curso cai aqui em meio a esse monte de fios, me assustei, mas observando outros pesquisadores, outros doutorandos, perguntando por que se faz isso, para que serve aquilo, a gente vai aprendendo...</i>

Quadro 4 - Transcrições parciais de respostas à questão 3.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF.PESQ.	<i>É como eu já disse no início, acho que tem teorias poderosas que permitem antever algumas coisas, mas a Física é uma ciência empírica, é a descrição da natureza (...). Normalmente a gente vê primeiro o fenômeno, percebe o fenômeno e depois obtém a</i>

	<i>plicação. (...) Na nossa área específica é praticamente sempre assim: a experiência antecede à teoria.</i>
PESQ. 1	<i>Teoria seguida de experimento. Se você vai para o laboratório e não sabe o que quer encontrar, você não encontra nada. De repente teu equipamento começa a medir alguma coisa que você não tem explicação. Mas na realidade se você estudar bem a teoria, você pode ter uma explicação. (...)</i>
PESQ. 2	<i>(...) acho que quando a gente está fazendo a experiência é mais fácil conseguir os resultados e depois tentar achar uma teoria que possa explicar, do que já partir de uma teoria e tentar reproduzir aqueles resultados, até porque as coisas inusitadas acontecem justamente quando a gente está fazendo experiências. (...) Você descobre um resultado que não era esperado, vai tentar descrever... Acredito que primeiro a experimentação e depois a teoria; mas, claro, as duas têm que andar em sincronia.</i>
PESQ. 3	<i>É complicado porque sempre que eu vou fazer um experimento eu já tenho uma bagagem teórica muito grande, sei se quero passar uma corrente, medir uma tensão; enfim, eu já sei disso. (...) Às vezes estou observando alguma coisa que não sei bem o que é, então eu penso que primeiro tenho de desconfiar do equipamento. Depois, com o que eu já sei, com a teoria que já possuo, tento adaptar, ou seja, dar um chute. (...)</i>

Observam-se respostas divergentes. Experimento seguido de teoria ou teoria seguida de experimento parece ser uma questão de crença pessoal. O fato é que todos os entrevistados são pesquisadores do mesmo laboratório, e os resultados de seus trabalhos seguem impulsionando a Física Contemporânea, independente de suas crenças. Há, todavia, acordo com relação à dependência da moderna tecnologia, em que equipamentos baseados em teorias bem estabelecidas fornecem dados nos quais é preciso confiar o tempo todo desconfiando. Afirmam também que as experiências são paciente e meticulosamente preparadas com objetivos e expectativas específicas, mas deixam transparecer uma postura empirista, clara-mente não ingênua, que nos levou a supor que ela pode servir, mesmo que inconscientemente, como justificção para o próprio trabalho científico. Muito embora, de fato, em muitos casos “descobertas” acidentais acabem gerando saltos decisivos, ainda assim, só o são acidentais porque os resultados não se mostraram como o esperado. O que há por trás disso? O fato

inegável de que pressupostos teóricos antecedem os modernos e sofisticados experimentos, ainda que os próprios pesquisadores afirmem não acreditar nisso.

Quadro 5 - Transcrições parciais de respostas à questão 4.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>(...) o pesquisador tem que ter muito conhecimento do que o equipamento é capaz de fazer. (...) um voltímetro não pode medir a diferença de potencial com precisão infinita. Se ele quiser levar o equipamento ao seu limite de atuação, ele pode começar a ver coisas que não existem. (...) É preciso separar isso, pelo menos evitar que esse tipo de fenômeno venha a influenciar os resultados (...) para poder discernir exatamente as propriedades que se busca.</i>
PESQ. 1	<i>As medidas são sempre seguidas de uma desconfiança, principalmente quando você não consegue bater com outras coisas que já foram feitas. (...)</i>
PESQ. 2	<i>(...) muitas coisas acontecem que interferem: às vezes a eletrônica não está muito bem estabelecida, tem problemas externos, de sistema de resfriamento, isolamento, que podem dar resultados errôneos. Em geral, para o resultado ser confiável a gente faz uma série de medidas. (...) A gente acaba fazendo uma média do que encontrou para tomar isso como verdade. (...)</i>
PESQ. 3	<i>A gente confia desconfiando. À primeira vista, quando a gente está medindo e observa alguma coisa nova, que surpreenda, a gente tenta repetir, reproduzir. (...) Então, a gente dá um chute, mas esperando alguma coisa. (...)</i>

Como já foi dito, as falas dos pesquisadores sugerem que a atitude mais comum nos modernos laboratórios de Física, com relação aos dados experimentais, é “confiar desconfiando”. Isso reafirma a importância de algumas das principais características da pesquisa científica: a clareza e a reprodutibilidade. Dados não reprodutíveis e experimentos não descritos com precisão não são aceitos, não apenas pela comunidade científica, mas pela autocrítica do pesquisador. A irreprodutibilidade é, não raro, atribuída a defeitos dos equipamentos, a impurezas, à oxidação da amostra, ao porta-amostra, ou tantas outras causas, aparentemente

previsíveis para um pesquisador experiente. Por isso preparação, experiência e habilidade são tão cruciais.

Quadro 6 - Transcrições parciais de respostas à questão 5.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>(...) Isso pode ocorrer com certeza. Com a descoberta da supercondutividade de alta temperatura crítica (...) uma quantidade imensa de pessoas passou a se dedicar a fazer experiências com esses materiais e foram reportados em revistas de renome internacional, as melhores, as que têm o maior parâmetro de impacto, trabalhos absolutamente falsos, completamente errados, de pessoas que mediam artefatos pensando que estavam medindo a propriedade física. Eram enganados pela complexidade do material, pelas dificuldades da experiência, pela afobação, por não terem paciência e devido àquela competição tão nociva para o desenvolvimento científico genuíno. Essa competição, que é um pouco a marca da nossa época: produtividade e competição, pouca filosofia. (...) Mas, acho que é um pouco assim. Na quase totalidade das vezes não é fruto de uma postura desonesta. A pessoa se afoba mesmo. (...)</i>
PESQ. 1	<i>Sim, porque no experimento existem várias condições e às vezes você desvia ou descuida de uma delas, mesmo sem perceber, isso pode acontecer: um porta-amostra, uma medida mal feita, que você achou que estava bem feita. (...) Você pode propor algo que não é real. Às vezes não temos como comparar. (...)</i>
PESQ. 2	<i>É possível. Assim como se acerta na maioria das vezes, pode-se errar. Mas acho que isso também faz parte. Propor coisas que a princípio parecem conflitantes também é interessante. (...) Pressupõe que você escolheu todo um caminho, você pensou, analisou, buscou soluções e concluiu que não deu e toma outro</i>
PESQ. 3	<i>Acho que não. Antes de chegar ao ponto de querer construir uma teoria, se estiver tão errado não vai durar muito. Se é alguma coisa que ninguém entende é porque é fruto de um erro, em seguida o erro vai ser descoberto. (...)</i>

Aqui, a maioria dos pesquisadores parece corroborar uma tendência das visões epistemológicas contemporâneas: a natureza criativa e tentativa da ciência. Significa dizer que, diferentemente de ser a realidade se mostrando ao homem, observador metucioso que, como consequência “descobre” leis e teorias verdadeiras e imutáveis, as teorias, via de regra, são fruto da criatividade humana e, nesse processo, sempre há a possibilidade de ocorrer um chute errado. Em geral, como bem alerta o professor-pesquisador entrevistado, o erro “...não é fruto de uma postura desonesta”, mas resultado da afobação, da cobrança por publicações, da competição que, como na vida cotidiana, é tão real e tão nociva ao desenvolvimento científico genuíno.

Quadro 7 - Transcrições parciais de respostas à questão 6.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>A contestação é o resultado. Uma experiência para ser aceita tem que ser reprodutível. (...) Se o meu resultado não é corroborado por outras experiências feitas nas mesmas condições, certamente ele é falso e tem que ser descartado. Acho que isso é definitivo. (...) Mas é engraçado, nós pesquisadores temos um pouco essa postura paradoxal: de um lado a gente procura a novidade, estamos sempre atrás do novo; mas quando se apresenta uma coisa nova, muitas vezes, temos uma reação contrária da comunidade... somos um pouco conservadores.</i>
PESQ. 1	<i>(...) o que é mais decisivo são os dados. Na experimental você prova; você tem a teoria, mas tem o experimento para comprovar, de alguma forma tem que estar aliada à comprovação.</i>
PESQ. 2	<i>Acho que são ambos. O consenso, a análise posterior que se faz é importante. Em geral, as pessoas chamam a atenção de coisas que você não tinha se dado conta. Mas eu acho que os dados são coisas muito ricas. (...) A princípio, as amostras têm uma variação pequena. Então, à medida que se varia pouco (...) dificilmente a gente vai encontrar alguma coisa absolutamente diferente de tudo o que os outros já encontraram.</i>
PESQ. 3	<i>(...) Mas na pesquisa básica, eu acho que são os dados porque mesmo que a comunidade científica, num primeiro instante, critique, não aceite, de repente depois de alguns anos ela volta e diz... bom aquele sujeito estava certo... acho que são os dados.</i>

Alguns filósofos da ciência e cientistas que se dedicaram à epistemologia contemporânea, como Toulmin (1977) e Bohm (1998), asseveram que, muitas vezes, todo um programa de pesquisa ou uma interpretação teórica alternativa é abortada pelos filtros da comunidade científica. Na maioria das vezes, a nova ideia é boa, mas o laboratório é menos influente ou menos aparelhado para dar continuidade à pesquisa e, assim, impor respeito e credibilidade a ela. Outras vezes, cientistas mais renomados desacreditam da ideia por pura vaidade pessoal ou por adesão à *infraestrutura tácita das ideias*, nas palavras de David Bohm, de uma linha de pesquisa mais tradicional.

Os pesquisadores entrevistados, como era de se esperar, entendem que os dados experimentais é que são definitivos para o avanço da ciência, mas manifestam uma postura filosófica atual ao admitirem que a comunidade científica assume um papel importante através da crítica, ainda que, quando as ideias são radicalmente novas, o mais comum é a adoção de uma atitude paradoxalmente conservadora. Paradoxal porque *de um lado a gente procura a novidade, estamos sempre atrás do novo; mas quando se apresenta uma coisa nova, muitas vezes, temos uma reação contrária da comunidade (...)*, nas palavras do professor-pesquisador.

A visão expressa pelos pesquisadores concorda com a visão de vários filósofos da ciência contemporâneos: a ciência básica *é uma empresa coletiva da humanidade como um todo*, nas palavras do professor-pesquisador entrevistado. Uma empresa porque as diversas áreas da ciência são hoje profissionalizadas; coletiva porque, pelo menos teoricamente, toda a humanidade dela se beneficia e, a partir dela, avança. Isso seria o ideal. Na prática, a coisa muda de figura. A tecnologia resultante da ciência assume um caráter bastante distinto da ciência básica. *Ai entra o interesse comercial, econômico e os resultados não são mais discutidos abertamente, em conferências internacionais, nem publicados em revistas de circulação livre*, conforme o professor-pesquisador.

Quadro 8 - Transcrições parciais de respostas à questão 7.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>Acho que a Física é essencialmente uma atividade cooperativa. Tem que ser cooperativa. Principalmente nos dias de hoje, em que a ciência está profissionalizada, ela é uma empresa coletiva da humanidade como um todo. (...) A questão da nacionalidade é algo muito forte na personalidade das pessoas. Então, tem certa</i>

	<i>característica nacional na ciência. (...) Mas acho que se admite, de forma geral, que, se não houver cooperação internacional, não tem como avançar de forma tão eficaz no conhecimento básico. Já isso muda completamente no nível tecnológico, aí entra o interesse comercial, econômico e os resultados não são mais discutidos abertamente em conferências internacionais, nem publicados em revistas de circulação livre. Acho que o valor fundamental da ciência básica é a ampla circulação das ideias.</i>
PESQ. 1	<i>Sim, acredito que a ciência não pode ter nacionalidade. E para que ela possa existir, deve haver cooperação sim.</i>
PESQ. 2	<i>Acredito que sim. Na maioria dos casos, ninguém se apropria de um resultado e mantém aquilo em segredo. A gente não faz nada só... a gente compara, vê o que os outros obtiveram. (...) A gente precisa desse intercâmbio de informações. (...)</i>
PESQ. 3	<i>Sim, com certeza. (...) Pelo menos na nossa área, esse intercâmbio, essa interação, é forte. Nosso grupo tem interação com vários laboratórios aqui no estado e com outros países. (...) Isso é constante, não tem como a gente se isolar e produzir aqui, fechado...</i>

Além disso, entendemos que a humanidade como um todo não é, na realidade, beneficiária dos resultados tecnológicos da ciência, uma vez que mais de metade da população mundial vive hoje abaixo da linha da miséria: material, cultural e educacional, de forma que o avanço da ciência em quase nada contribui para a melhoria das condições de vida dessa parcela da humanidade.

Tornar os professores de Física, divulgadores das ciências por natureza, mais reflexivos sobre essas questões, como também sobre o processo de produção do conhecimento científico buscando transmitir uma visão mais humanizada do trabalho dos cientistas, parece ser uma das importantes contribuições da Filosofia da Ciência. Nós esperamos, com este trabalho, poder contribuir nesse processo de reflexão e quiçá de transformação das concepções dos professores de Física, e consequentemente para uma melhoria das suas práticas de ensino de Física.

Embora os pesquisadores pareçam convictos de que os dados de pesquisa, muitas vezes surpreendentes, são definitivos para a “descoberta” de novos fenômenos, propriedades ou comportamentos capazes de gerar avanços científicos, na prática eles afirmam que têm ideias mais ou menos precisas do que buscam ao se debruçarem sobre novos experimentos. Em outras palavras, os

pressupostos teóricos e as expectativas são tão reais e estão tão presentes no cotidiano do pesquisador que acabam por desencadear grandes euforias ou certa dose de frustração, dependendo se eles obtêm ou não os resultados esperados. De qualquer forma, as emoções é que funcionam, ao nosso ver, como fonte da indispensável dedicação e persistência que permeiam a vida do pesquisador. É nesse sentido que talvez seja possível afirmar que o trabalho científico é, antes de tudo, fruto da paixão ou, nas palavras de Humberto Maturana (2001), do prazer de explicar o mundo que nos rodeia.

Quadro 9 - Transcrições parciais de respostas à Questão 8.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>(...) A resposta, de novo, é dúbia. A gente sempre acha que sabe o que vai encontrar, mas na verdade não sabe. (...) Mas o fato é que temos que aceitar a natureza como ela é; tentar entender como ela é e não como a gente quer. (...) quando não dá aquele resultado, dá outro (...) acabamos descobrindo que o que aconteceu é muito mais interessante... isso nos permite ir mais longe. (...) Outras vezes a gente descobre que simplesmente estava pensando mal. (...)</i>
PESQ. 1	<i>O pesquisador tem que ter alguma ideia do que vai encontrar, em minha opinião. Ele pode ir por um caminho totalmente abstrato e, talvez, tentando encontrar alguma coisa, ele encontre outra. Às vezes é o que acontece (...). Mas tem que estar trilhando um caminho, senão você vai para o laboratório e faz um experimento após outro e é tempo perdido. (...) Quando a gente consegue, é claro, dá aquela alegria... mas tem que ter persistência. (...)</i>
PESQ. 2	<i>(...) a gente não trabalha com o desconhecido. Quando a gente seleciona uma amostra, por exemplo, a gente tem um objetivo. Por que a gente escolhe aquela e não outra? A gente espera encontrar uma série de comportamentos de interesse que vão nos ajudar a chegar às conclusões que a gente queria. Em geral, esse primeiro caminho fica mais ou menos estabelecido. (...) Às vezes, você tem um objetivo traçado, mas, quando você vai medindo, acontecem coisas tão interessantes com aquele processo que você acaba desviando um pouco do objetivo prin-</i>

	<i>cipal. Acho que isso também é interessante. (...)</i>
PESQ. 3	<i>(...) quando a gente está trabalhando com um sistema, com uma amostra, a gente já sabe mais ou menos o que espera. Mas tem que estar sempre atento, porque não só a amostra pode surpreender, apresentando alguma propriedade nova, como tem que estar atento com o equipamento. (...)</i>

Quadro 10 - Transcrições parciais de respostas à Questão 9.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>Acho que sim, acho que a afirmação está correta. (...) Isso acontece em escalas de tempo muito grandes, eu acho. Ali na fronteira do avanço do conhecimento onde a tentativa e erro é mais flagrante, mais evidente, o que pode variar são os esquemas interpretativos periféricos. (...) Essa oscilação, que é mais ou menos natural, acho que é a forma de a gente avançar: errando e aprendendo. Por outro lado, tem as grandes linhas de pensamento que são mais sólidas, mas mesmo assim elas estão sujeitas a modificações. (...) Nossa compreensão sobre as coisas sempre é limitada.</i>
PESQ. 1	<i>Acho que as teorias são provisórias. Até que provem o contrário, são provisórias. Mesmo a supercondutividade, ainda não tem uma teoria exata para explicar o fenômeno. Existem propostas, e tem a que melhor explica que é a BCS, mas isso não significa que ela seja definitiva. (...)</i>
PESQ. 2	<i>As teorias pode ser superadas, faz parte da evolução da ciência essa desconexão entre o antigo e o novo. As teorias não só são superadas mas aprimoradas também. (...) Acho que tem teorias que são comprovações universais, mas principalmente a Física Moderna está em aberto ainda. (...)</i>
PESQ. 3	<i>Acho que não. Acho que dizer que o que valeu há um tempo atrás não vale mais hoje é errado. Acho que o que acontece é que o que valeu antes continua valendo, mas de uma forma adaptada. Se não fosse assim a gente não teria chegado até aqui. (...)</i>

Apenas um pesquisador acredita que as teorias não são provisórias, mas ainda assim admite que elas sofrem adaptações. Os demais parecem convictos de que o processo mesmo de evolução da ciência pressupõe superação ou modificação de teorias na incansável busca por explicações melhores e capazes de abarcar novas investidas experimentais.

Quadro 11 - Transcrições parciais de respostas à Questão 10.

Identificação	Recortes das Respostas
PROF. PESQ.	<i>(...) Acho que a ciência tem que estar apoiada em uma base racional, em especial a ciência física tem que estar apoiada na realidade da natureza, como a natureza se comporta. (...) um processo em que se busca, com ferramentas racionais, ferramentas que podem ser verificadas, que independem do observador, uma realidade até extra-humana. Uma realidade que exista independente do observador. A busca dessa realidade acho que é o processo científico. (...) Mas se estendemos o conceito de ciência para as ciências humanas isso é mais complicado. Aí foge um pouco desse caráter mais estrito da verificação experimental, da confirmação dos resultados por meios controláveis. (...)</i>
PESQ. 1	<i>(...) Ciência, para mim, é a arte de buscar alguma coisa, conhecer, ou seja, a arte do conhecimento. A arte de explicar. A Física tenta explicar a realidade, a filosofia tenta explicar outra coisa; não diria que existe um padrão, mas pode vir a existir um método sim de trabalho no laboratório. Quando surge uma pessoa nova no laboratório eu costumo dar algumas dicas que funcionaram (...) ter o caderno de laboratório, anotar tudo, porque de repente posso descobrir algo importante e não consigo repetir. (...) o físico experimental tem que estar atento a tudo, tem que anotar, tem que ter a história de tudo o que fez dentro do laboratório. (...) você tenta aliar ou provar o que você está falando. Se o experimento vem antes, aí você tenta bolar uma teoria que explique.</i>
PESQ. 2	<i>(...) Acho que o compromisso do cientista atual é fazer essa manutenção das coisas, estabelecer, firmar esse conhecimento</i>

	<i>(...) Fui da teórica, e tinha tantas surpresas quanto na experimental. Na pesquisa teórica a gente vai avançando, agregando conhecimento e chegando a um resultado, tanto quanto se faz aqui no laboratório. Nesse ponto a Física teórica e experimental, acho que o processo é exatamente o mesmo. Você se reveste daquele conhecimento, tem aquele objetivo final e trabalha em cima daquilo. Apesar de parecer diferente, acredito que não seja. As ciências, em geral, têm esse mesmo intuito. Acho que a parte que mais interessa é o empenho do cientista em buscar coisas novas. (...)</i>
PESQ. 3	<i>Ciência é quando tu tens uma teoria que tu possas tentar refutar. (...) Mas, para que o trabalho possa ser classificado como científico, acho que tem sempre que passar pelo crivo, pelo julgamento de alguém. Na ciência, geralmente, esse julgamento é feito por equivalentes, pelos pares, por pessoas que também estudaram aquilo que tu estudaste... bom, o trabalho científico passa por isso. (...) Tudo o que não se pode demonstrar, verificar, checar... tudo isso não é ciência.</i>

Primeiramente, essa pergunta causou sempre grande impacto em todos os pesquisadores entrevistados. Talvez seja mesmo muito difícil definir ciência ou, então, os próprios pesquisadores nunca tivessem parado para refletir a respeito dessas questões, sempre mergulhados em tantos detalhes e cuidados necessários para a boa pesquisa experimental. De qualquer forma, com ou sem tais reflexões, eles sabem que podem tranquilamente seguir fazendo seu trabalho e, assim, contribuir para o avanço da ciência. Temos a impressão de que todo filósofo da ciência concordaria com essas assertivas.

A questão é que o cientista e o filósofo da ciência têm focos diferentes. Este último está mais preocupado com a justificação do trabalho científico, que às vezes tem um preço muito alto para a sociedade, mas que é indispensável para seu próprio crescimento. A forma de concebê-lo e de transmiti-lo (o conhecimento científico) aos cidadãos é outro aspecto tratado pelos epistemólogos, que também é de crucial importância para a ciência, além de questões intracientíficas, ou seja, produzir uma enorme quantidade de dados não é suficiente, às vezes, para resolver um problema conceitual grave. Nesse sentido, a filosofia da ciência pode ajudar e não faltam exemplos históricos para confirmar isso. As discussões em torno das interpretações da Mecânica Quântica, ainda hoje uma questão em aberto, ou a

influência das ideias de Darwin sobre o lugar que o homem ocupa no universo, são apenas alguns exemplos.

Contudo, vários conceitos utilizados com muita espontaneidade pelos pesquisadores entrevistados como base racional, verificabilidade, crítica pelos pares e confirmação de resultados por meios controláveis não se chocam com as ideias de vários epistemólogos contemporâneos. Isso sugere que os pesquisadores entrevistados, de uma maneira geral, têm visões não conflitantes com as visões epistemológicas contemporâneas. Ficamos, entretanto, com a sensação já expressa em momentos anteriores desta análise, de que os pesquisadores deixam transparecer nas suas falas, atitudes e, na rotina diária, uma fé inabalável de que os dados experimentais, uma vez conferidos, confirmados através de repetidas experiências e reproduzidos por diferentes pesquisadores são, estes sim, definitivos. É como se dissessem a todo momento: aqui está um conjunto de curvas e os pontos mostram de forma inequívoca o comportamento do meu sistema. Não há o que discutir. A matéria tem tais e tais propriedades diante de tais e tais condições físicas às quais foi submetida. Isso comprova a hipótese que estava em cheque, ainda que muitas vezes eles não admitam a pré-existência de tais hipóteses. Nesse ponto, parecem convictos de que é chegado o momento de se valerem de uma lógica que se assemelha à lógica indutiva. Poder-se-ia, então, colocar a clássica questão sugerida por Chalmers (1999): quantas explicações teóricas levemente diferenciadas ou radicalmente novas poderiam tomar como base o mesmo conjunto de pontos e curvas de que dispõe o pesquisador? Sem dúvida, muitas. A explicação teórica tentada, em geral, é coerente com alguma linha de pesquisa seguida pelo grupo de pesquisa. Nesse sentido, a escolha confere ao conhecimento científico o caráter de uma construção humana. Quanto mais criativo, imaginativo e intuitivo o pesquisador, melhor a explicação se adapta aos dados, às curvas e ao programa de pesquisa. Esse processo, às vezes racional, outras vezes sociológico ou fenomenológico, tende a mostrar que não há um “método” único e algorítmico para se chegar às teorias da Física, e da ciência em geral. Reflexões e discussões nessa linha podem tornar o debate epistemológico um facilitador para a motivação dos estudantes, e dessa forma contribuir para a melhoria do ensino de Física.

Apenas um pesquisador entrevistado afirmou que *fui da teórica, e tinha tantas surpresas quanto na experimental. Na pesquisa teórica, a gente vai avançando, agregando conhecimento e chegando a um resultado, tanto quanto se faz aqui no laboratório. Nesse ponto, a Física, teórica e experimental, acho que o processo é exatamente o mesmo.* E esse processo da ciência contemporânea, em

geral, não é senão uma construção de hipóteses seguida de tentativas de verificação experimental, em alguma medida.

VIII. Conclusão

É bem verdade que não há um consenso sobre como se faz ciência entre os filósofos da ciência contemporâneos. Mas há um razoável acordo no sentido de que o conhecimento científico não deriva unicamente da observação e da experimentação; que algum tipo de pressuposto teórico sempre precede à observação; e mais recentemente, que a experimentação nos modernos laboratórios enfatiza o caráter negociado entre a produção científica e o trabalho envolvido na criação da instrumentação (Lenoir, 2003). Os aparelhos nos modernos laboratórios de pesqui-sa são importantes porque materializam os debates e as controvérsias e porque sem eles, os fenômenos aos quais eles se referem não poderiam existir. É nesse aspecto que Bachelard (1953) se referia aos instrumentos como “teoria reificada” ou ‘fenomenotécnica’. Latour e Woolgar (1997), em um detalhado estudo etnográfico do cotidiano de um moderno laboratório de neuroendocrinologia, afirmam que os cientistas atuam numa complexa *manipulação de enunciados, conscientemente ordenados, suprimidos, tomados de empréstimo, citados, rejeitados* até que em certos momentos um enunciado passa a ser utilizado e reutilizado e atinge um estágio em que não é mais objeto de constestação. Tal enunciado integra-se, então, ao estoque de aquisições científicas. Quando isso ocorre, houve a “*produção de um fato científico*” (op. cit.).

Nossas impressões, a partir de uma breve vivência num laboratório de Física Contemporânea, da observação da vida como é vivida no cotidiano do laboratório, das emoções, das dificuldades e expectativas dos pesquisadores, conduziram-nos a alguns achados não conflitantes com aqueles encontrados por Latour e Woolgar (1997): a dependência do trabalho dos pesquisadores com relação aos instrumentos, que os autores denominam de *inscritores literários* (aparelhos que produzem resultados sob a forma de escrita); a preocupação com a produção e publicação de artigos; a interação entre os diferentes laboratórios e entre os grupos de pesquisadores; a tentativa e erro; a persistência, entre alguns pesquisadores, de visões consideradas superadas pela filosofia da ciência contemporânea (como o empirismo-indutivista e o positivismo) e que acabam transmitindo ao público uma ideia errônea sobre o processo da ciência.

O que conhecemos como Física Moderna e Contemporânea trata, num extremo, do macrocosmo onde se aplica a Mecânica Einsteiniana ou, no outro, do

microcosmo tratado pela Mecânica Quântica, onde as experiências e as observações não são diretas. Por isso a importância que assumem os aparelhos e toda a preparação para com eles operar. Mas não basta se ter um laboratório bem equipado. A criatividade, tanto no desenho de novos experimentos quanto na interpretação dos dados, na *construção de sistemas hipotético-dedutivos* (Bunge, 1974), são fundamentais para o avanço da ciência.

Nossa vivência no laboratório parece indicar que os próprios pesquisadores não têm presente qual a proporção relativa dos avanços científicos que vivemos na atualidade podem ser atribuídos a novas tecnologias ou a novos experimentos em comparação àqueles decorrentes de novos modelos conceituais, novas ideias, concepções e conceitos. Talvez isso seja mesmo irrelevante. Uma visão de que nossas teorias científicas precisam ser constantemente revisadas, modificadas e/ou substituídas e permanentemente testadas, de que teorias não são infalíveis, e que não existem perguntas finais parece ser a chave do contínuo desenvolvimento de novas experiências e novas hipóteses.

É importante que os professores de Física, especialmente do Nível Fundamental e Médio reflitam sobre essas questões e com isso repensem suas práticas didáticas para não passarem uma ideia distorcida sobre o processo de produção das leis e teorias. Para Mayr (1998), a razão pela qual precisamos ter, e também ensinar, uma “ciência da ciência” está associada a que, em qualquer tempo, ela reflete a maneira como interpretamos, a partir da nossa estrutura conceitual e de conhecimentos, o *zeitgeist* ou “espírito do tempo”.

Esperamos que este trabalho, uma tentativa de descrever a vida de um laboratório de Física Contemporânea, possa incentivar pesquisadores e educadores a refletirem sobre suas próprias crenças sobre a natureza da ciência, já que são eles os maiores divulgadores de todo o trabalho científico produzido com tanto empenho, e que, desta forma, especialmente os educadores, possam repensar suas práticas docentes, objetivando motivar seus alunos, incluir debates sobre questões epistemológicas e controvérsias, buscando melhorar o ensino e a aprendizagem da Física.

Agradecimento

A vivência que tivemos no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo foi fundamental para nossa formação como pesquisadora em Ensino de Física em uma perspectiva epistemológica. Acreditamos que a formação de um pesquisador nessa área, independente da perspectiva, não deve prescindir de uma experiência real de laboratório de pesquisa em Física.

No nosso caso, os pesquisadores foram muito receptivos e tornaram muito agradável e produtiva a nossa passagem pelo laboratório. Este trabalho, no qual descrevemos um pouco dessa vivência, é sobretudo um agradecimento a esses pesquisadores.

Agradecimento especial aos Professores Doutores Marco Antonio Moreira e Paulo Pureur, do Instituto de Física da UFRGS, pela colaboração e revisão deste trabalho.

Referências

BACHELARD, G. **Le matérialisme rationnel**. Paris: PUF, 1953.

BOHM, D.; PEAT, F. D. **Ciencia, Orden y Creatividad**. 2. ed. Barcelona: Editorial Kairós, 1998. Título original: Science, Order, and Creativity, Ed. Dell, 1987.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. Tradução: Gita K. Guinsburg. São Paulo: Editora Perspectiva, 1974.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução: Raul Fiker. 1. ed. Brasília: Editora Brasiliense, 1999.

COMTE, A. **Reorganizar a Sociedade**. Tradução: Antonio Geraldo da Silva. São Paulo: Editora Escala, 2006. Título original: Plan des Travaux Scientifiques Nécessaires pour Réorganiser la Société, 1822.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução: Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Editora Perspectiva, 1978.

FEYERABEND, P. **Contra o Método**. Tradução: Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989. Título original: Against Method.

LATOURET, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Tradução: Angela Ramalho Vianna. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. Título original: La vie de laboratoire.

LENOIR, T. **Instituindo a Ciência: a produção cultural das disciplinas científicas**. Tradução de Alessandro Zir. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003.

MATURANA, H. R. **Ciência, cognição e vida cotidiana**. Tradução: Cristina Magro e Victor Paredes. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001.

MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico**. Tradução: Ivo Martinazzo. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1998.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. **Supercondutividade**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

POPPER, K. **Conjeturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982. Tradução do original *Conjectures and refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Londres: Routledge & Kegan, 1963.

PUREUR, P. Notas de aula e polígrafos preparados para a disciplina de Física Moderna (módulo de Supercondutividade) lecionada no Curso de Mestrado Profissionalizante, IF da UFRGS, 1º Semestre de 2007, 2007.

SERRANO CALDERA, A. **Os filósofos e seus caminhos**. Tradução: Antonio Sidekum. São Leopoldo: Nova Harmonia, 2007.

TOULMIN, S. **La comprensión humana**. Tradução: Nestor Miguez. Madrid: Alianza Editorial, 1977.