
LINGUAGEM E ESTRUTURAÇÃO DO PENSAMENTO NA CIÊNCIA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Maurício Pietrocola¹

Faculdade de Educação - USP
São Paulo – SP

A concepção comumente aceita por estudantes e professores de ciências associa os conteúdos da ciência como revelações sobre a organização interna do mundo. Sully (1989) mostrou que os estudantes acreditam que as verdades científicas pré-existem ao conhecimento e que há um caminho lógico simples entre a evidência empírica e a proposição de conteúdos teóricos. Ryan e Aikenhead (1992), utilizando um questionário do tipo VOSTS (Views on Science-Tecnology-Society), demonstraram através de entrevistas que, a maioria dos estudantes (¾ do total) entendia a origem das teorias científica, como “descobertas” e não “invenção”. Esses resultados parecem associar a atividade científica com as formas comuns de investigação do mundo natural: o cientista seria como um viajante que descobre uma nova ilha ou um novo continente. O conhecimento científico seria o resultado dessa investigação (um “mapa” na metáfora anterior). Embora seja natural que tal concepção exista informalmente entre os jovens, é menos natural aceitá-la como resultado de escolarização, visto que parte dos objetivos da educação científica é fornecer aos estudantes uma idéia mais apropriada da dinâmica interna da ciência. Livros didáticos e cursos de formação de professores estão assentados numa concepção de ciência que privilegia a separação entre sujeito e objeto do conhecimento. Nos textos de materiais didáticos e nas falas dos professores transparece a crença na existência de uma “realidade essencial” não percebida diretamente pelos nossos sentidos. Essa realidade ocultada pelas limitações de nossa percepção seria a fonte de verdades definitivas. O papel do cientista seria atingi-la através de um método seguro, apoiado na experimentação e na medida e no pensamento lógico. O método seguro, dito “científico”, se revestiria numa espécie de código de conduta a ser seguido pelo cientista, composto por uma série de requisitos a serem cumpridos ao longo do processo de investigação: **isenção** nas observações (observador neutro), através da pesquisa livre de pré-conceitos; a transformação da parte do mundo a ser estudada em fenômenos científicos, de forma a que se possa estudá-los **sistematicamente**, se possível num laboratório; **diversificação** das condições de observação de uma dada relação, buscando avaliar se se trata de uma relação verdadeira ou meramente fortuita; exprimir os resultados de forma a que possam ser **universalizados** através de testes feitos por outros cientistas; **duvidar** sempre que possível das relações obtidas entre fenômenos, antes de transformá-las

¹Com apoio parcial do CNPq.

em conhecimento. A ciência se diferenciaria, então, de outras formas de conhecimento pelo uso de um método especialmente desenvolvido para a produção de verdades. Ao contrário das impressões primeiras, passageiras e superficiais, o conhecimento obtido através da ciência seria absoluto, definitivo e fundamental, pois apoiado no método experimental. A base de tal método repousaria na *lógica indutiva*, ou seja na possibilidade de obter *verdades gerais* a partir de *verdades particulares*. Essa lógica seria uma forma de se conceber o tal “caminho seguro e simples” de acesso à realidade imaginado pelos estudantes, como mencionado nas pesquisas de Sully, acima citada.

Essa concepção de ciência reflete uma idealização de natureza empírico-positivista e tem influenciado profundamente o ensino produzido nas escolas, gerando uma visão deformada da natureza da atividade científica e do conhecimento por ela produzido. Ela contrasta com aspectos importantes da atividade científica efetivamente realizada e que mereceriam ser enfatizados na educação científica. Millar (1989) em seu trabalho intitulado “Doing Science: image of science in science education” destaca dois desses aspectos: a caracterização da atividade científica como uma *atividade humana* e o caráter eminentemente *provisório* das idéias científicas.

Dentro desse contexto, um aspecto importante da natureza da ciência é o papel atribuído à linguagem. Uma vista, mesmo que superficial, nos principais textos públicos da ciência é suficiente para indicar que a ciência pública (ou publicada nos principais veículos de divulgação científica, as revistas e os livros) se vale de uma linguagem “nominalizada” (Halliday e Martin, 1993). Na ciência processos são transformados em objetos que recebem nomes. Por exemplo, na Química o processo de combustão da gasolina, com o aparecimento de calor e gás carbono é tratado como “oxidação”. Os Físicos por sua vez, ao procurarem descrever a mudança de direção sofrida por um fecho de luz ao mudar de meio material transparente empregam o termo “refração”. Nas ciências biológicas, o complexo processo de sintetização de compostos orgânicos produzidos pelas plantas através da captação de luz solar recebe o nome de “fotossíntese”. De maneira geral, a ciência progride transformando processos mais ou menos complexos em “nomes”.

Essa forma de apresentação dos textos da ciência acaba por se converter numa de suas características mais enfatizadas na escola, aterrorizando gerações de estudantes que acabam limitando seu aprendizado à memorização de nomes da ciência. No entanto, bastaria um olhar mais atento às todas as fases de publicação das pesquisas para revelar que a linguagem nominalizada não permeia todo o processo de produção de conhecimento. O emprego de nomes é compatível com as etapas finais de publicação. Nessa etapa, a linguagem tende a ser *impessoal*, *isenta* e *segura*, como se o cientista se referisse uma verdade indubitável, porém inacessível aos indivíduos em geral. Sutton (1997) identifica a linguagem nominalizada da ciência (por ele defi-

nida como linguagem de “etiqueta”) com as fases conclusivas das pesquisas, quando se atingi um entendimento compartilhado sobre o que venha a ser o domínio empírico investigado. O compartilhamento do entendimento dentro de uma comunidade científica sobre determinados fenômenos investigados é fruto do investimento teórico e experimental de coletivos de pesquisa ao longo do tempo e reflete-se por um estado de conhecimento estabilizado. No entanto, na fase inicial da investigação o entendimento dos fenômenos em foco ainda é precário. Prevalece nessa etapa, uma linguagem menos estável, influenciada por aspectos pessoais, por especulações e por idéias provisórias. Nesse momento de prospecção de um novo campo de conhecimento, haveria uma linguagem “interpretativa”, adaptada ao estágio inicial de investigação, caracterizada pela necessidade de recurso a um pensamento metafórico e analógico, menos seguro e estável. Na mesma direção, Bronowski emprega a noção de *linguagem de idéias* em contraste com aquela de *linguagem de ordens*.²

Ao longo da história da ciência, vários foram os momentos onde esse tipo de linguagem se manifestou com clareza. A linguagem utilizada por Boyle para se referir às investigações sobre a compressibilidade do ar em recipientes fechados oferece um bom exemplo de uso de linguagem interpretativa. Boyle no início dos anos 1660 se dedicava a um novo ramo de estudos, investigando propriedades da matéria até então desconhecidas. O extrato a seguir se refere a um relato baseado em conjecturas sobre características do ar que ele busca associar com propriedades de corpos conhecidos como relógios, cavacos de madeira etc:

“ Da estrutura das partículas elásticas do ar, podemos formar-nos diversas concepções...alguém pode pensar que as partículas são **como** molas de relógios, enrolados, que tentam abrir-se... Outros podem imaginar uma porção de ar **como se** fosse um conjunto de grupos de tecido retorcido, o qual ao ser comprimido ... pode fazer um contínuo esforço para esticar-se, e impulsionar as partículas vizinhas...Também recorde que, entre outras comparações deste tipo, tenho imaginado as partículas do ar **como** os cavacos muito finos de madeira que os carpinteiros e montadores costumam produzir com suas ferramentas...e talvez você possa preferir esta comparação porque estes cavacos são produzidas a partir de corpos, que não pareciam nem eram suspeitos de serem elásticos em todo seu volume, como as vigas ou blocos...” (Boyle, apud Sutton 1997, pág. 12, negritos acrescentados)

Vejamos que a explanação sobre propriedade elástica do ar está repleta de especulações, seja pela comparação com as molas de uma relógio ou com os cavacos de madeira. O estado ainda precário de conhecimento sobre o ramo exigiu de Boyle abordagens pouco claras e precisas e o emprego constante de metáforas e com-

² Bronowski 1983, pag. 23.

parações, expressas pelo emprego da palavra “como” (destacada no texto acima). Boyle estava consciente da fragilidade das hipóteses propostas e manifesta-se no próprio texto da seguinte maneira:

“Mas, possivelmente você pode pensar, que estas são conjecturas extravagantes e, portanto...considere com gosto que se pode imaginar outras formas....para estes corpúsculos elásticos...” (Idib)

A flagrante dificuldade encontrada por Boyle para se expressar sobre a natureza elástica do ar fica evidenciada no texto pelo uso de afirmações de caráter provisório e pelo constante uso de condicionais como a expressão “mas, você pode pensar”. E isso é compreensível, quando se constata que o termo *gás* (hoje facilmente encontrada em livros didáticos e mesmo na linguagem coloquial com o “gás de cozinha”, o GNV - gás natural veicular – etc) só viria a se impor como conceito muitas décadas depois, com os trabalhos de Van Helmont.

A linguagem interpretativa pode ser também avaliada em trechos da obra de Newton. Tido como um dos “pais” da ciência moderna e como um filósofo natural rigoroso (Newton afirmava não fazer hipóteses), seus relatos de pesquisa preliminares se organizavam em linguagem pouco objetiva, e fortemente influenciada por recursos às comparações, às metáforas e às suposições. Na obra *Optics* de 1704, Newton dedica uma seção final, intitulada *Queries*, às questões ainda incipientes e afeitas a investigações e confirmações futuras³. São particularmente interessantes as *queries* 8, 29 e 30, nas quais Newton se dedica a interpretar a luz emitida por corpos aquecidos. Na *querie* 8, lemos: “Todos os corpos fixos não emitem luz e brilham quando são aquecidos além de um certo grau? E essa emissão não é efetuada pelos movimentos vibratórios de suas partes?...” e Newton segue tecendo afirmações na forma de novas perguntas que visam mostrar outras situações onde emanações são produzidas pela agitação de corpos⁴. Vejamos como

E todos os corpos que abundam em partes terrestres, e especialmente em partes sulfúreas, não emitem luz quando essas partes estão suficientemente agitadas seja essa agitação produzida por calor, por fricção, percussão, putrefação ou por qualquer movimento vital ou outra causa qualquer? Como, por exemplo, água do mar numa tempestade devastadora; o mercúrio agitado in vacuo[no vácuo]; as costas do gato ou o pescoço de um cavalo golpeados obliquamente ou friccionados num lugar escuro; a madeira, a carne, o tecido e peixe enquanto se putrefazem; os

³ Na última frase do capítulo que antecede a seção das *queries*, Newton escreve: “Eu gostaria de concluir propondo apenas algumas *queries*, visando outras investigações a serem feitas por outros” (Newton, 1704)

⁴ Vale indicar que Newton recorre à forma de interrogativa para fazer manifestar suas convicções pessoais sobre os fenômenos em foco.

vapores que emergem da água putrefadas, chamados usualmente ignes fatui.....

Neste trecho, Newton procura associar a idéia de emissão de luz com a emissão de vapores por corpos para mostrar a plausibilidade da mesma. Embora haja uma enorme diferença, hoje facilmente percebida, entre o domínio de investigação (no caso, a emissão de luz) e os fenômenos que ele procura usar como referência (corpos que emitem vapores), trata-se de uma estratégia de convencimento.

A seqüência de outras perguntas que segue à pergunta de abertura da *querie* constitui-se, na verdade, de afirmações enfraquecidas pela forma interrogativa, deixando margem para dúvida, sem contudo, parecerem especulações gratuitas. Isso visa mostrar o bem fundado da proposição. Mina resistências iniciais e organiza o pensamento visando investigações posteriores.

A *querie* 29 é mais emblemática quanto aos objetivos de Newton, pois aqui ele associa a emissão luminosa de corpos aquecidos com pequenas partículas: “Não seriam os raios de luz muito pequenos corpos emitidos de uma substância brilhante?” Para sustentar tal idéia, era preciso explicar alguns fenômenos conhecidos. Um deles, citado no corpo dessa questão, é a dupla refração, fenômeno evidenciado por experiências com o *crystal de islândia*. Newton aqui sugere que a explicação para o aparecimento do raio extraordinário na dupla refração seria gerado pelo fato dos corpúsculos de luz possuírem “lados” (em sua comparação com os pólos de um imã):

*E, desde que o cristal, por sua disposição ou virtude, não age sobre os raios, a não ser quando um de seus **lados** de refração extraordinária se volta para esse **lado**, isso prova que há uma virtude ou disposição nesses **lados** dos raios que respondem e simpatizam com aquela virtude ou disposição do cristal como os pólos de dois imãs respondem um ao outro. (negritos acrescentados ao original)*

Além disso, no processo de emissão de corpúsculos luminosos deve haver algum tipo de transformação de partes do corpo em luz, pois corpos aparentemente não luminosos passam a emitir luz quando aquecidos. A *querie* 30 trata desse mecanismo, procurando mostrar outras conversões presentes na natureza:

“A mudança dos corpos em luz , e da luz em corpos, é muito conforme ao curso da natureza, a qual parece deliciar-se com transmutações; A água, que é um verdadeiro fluido sem gosto, transforma-se pelo calor em vapor, que é uma espécie de ar, e pelo resfriamento em gelo, que é uma pedra dura, transparente, quebradiça, fun-

dível; e essa pedra volta a ser água pela ação do calor, torna-se fogo, e pela ação do frio volta a ser terra. Os corpos densos, pela fermentação, se rarefazem em várias espécies de ar, e esse ar, pela fermentação e algumas vezes sem ela, se reconverte em corpos densos... Os ovos crescem a partir de grandezas imperceptíveis e transformam-se em animais; os sapinhos, em rãs ...Todas as aves, animais e peixes, insetos, árvores e outros vegetais com suas várias partes originam-se da água e de tinturas e sais aquosos e, pela putrefação, se reconvertem em substâncias aquosas... E em meio a essas transmutações variadas e estranhas, por que não pode a natureza transformar os corpos em luz, e a luz em corpos?”

As três características acima apontadas para a linguagem científica na fase conclusiva de pesquisas não estão presentes no texto de Newton: ela não é *isenta*, não é *impessoal* e não é *segura*. Newton procura convencer seu leitor do bem fundado de sua crença sobre a emissão da luz valendo-se de comparações e analogias variadas. O magnetismo é usado de forma analógica para buscar explicar o comportamento assimétrico da interação da luz com o Cristal bi-refringente. Dessa analogia surgiu a idéia de luz com pólos ou lados. Embora hoje superada, essa idéia, mantém-se na ciência através dos termos *polarização*, *polarizador* etc. A comparação da emissão de luz com a emissão vapores em corpos em putrefação é extravagante, mas revela grande esforço imaginativo. Claramente Newton não dispõe, em sua época, de informações sobre a estrutura interna dos corpos e sobre os processos de incandescência que lhe permitiriam construir afirmações mais seguras e evitar o uso abusivo de metáforas, tornando sua argumentação menos pessoal. Mas não há que se criticar Newton por isso! Trata-se do estágio de desenvolvimento em que se encontrava o estudo dos fenômenos luminosos na época.

Sobre esse ponto, encontramos um comentário interessante na apresentação à tradução brasileira do Optics. O tradutor escreve o seguinte:

Esse fato (a proposição interrogativa da questão) e a argumentação que se segue deixam claro que Newton responderia um sim enfático a todas essas questões [as queries propostas na seção]. Talvez ele estivesse querendo mais uma vez se esquivar de críticas e controvérsias. De qualquer forma, podemos sentir-nos privilegiados com isso (coisa que não havia ocorrido, por exemplo, com os Principia), já que nos dá a oportunidade de vivenciar com suas palavras sua própria visão de mundo, perceber suas intuições sobre o funcionamento da natureza, observar suas idéias e o encadeamento de seu raciocínio. (Assis, A., 1996, pág. 23)

É fácil perceber que em outros domínios, onde o desenvolvimento científico já forjará idéias e conceitos mais estáveis, que a linguagem por ele utilizada,

torna-se outra. Por exemplo, na primeira parte do *Optics*, dedicada a descrever as trajetórias dos raios de luz, sem considerar a natureza da luz ela mesma, a linguagem utilizada por Newton é segura e livre de analogias e metáforas. A leitura do parágrafo inicial da obra já apresenta o tom a ser utilizado:

“Meu objetivo neste livro não é explicar as propriedades da luz por meio de hipóteses, mas propô-las e prova-las pelo raciocínio e por experimentos...”

E dois parágrafos abaixo:

*“ A **Refrangibilidade** dos raios de luz é a disposição de serem refratados ou desviados da trajetória quando passam de um corpo ou meio transparente para outro. E uma refringência maior ou menor dos raios é a tendência de se desviarem em maior ou menor grau da sua trajetória em incidências semelhantes no mesmo meio.”⁵⁾*

Aqui o texto é seguro, impessoal e isento. A segurança se materializa na ênfase inicial dada ao termo *refrangibilidade* relacionado ao processo de desvio da luz ao mudar de meio. Temos aqui o processo de nominalização concluído. A impessoalidade e a insenção são marcadas pela ausência de estratégias de persuasão. O texto aqui parece um relato claro e seguro de uma verdade auto-evidente.

Tanto Boyle como Newton, ao lidarem com novos ramos de investigação, precisam utilizar palavras e imagens emprestadas de outros domínios. Sejam eles da fenomenologia do dia a dia, acessível à percepção imediata e compartilhada pelos supostos interlocutores ao qual o texto se dirige, mas também trazendo conhecimento de outros ramos de investigação, como no caso das mudanças de estados da água, mencionado por Newton. Ambos buscam palavras e imagens para adequar e orientar seu próprio pensamento, assim como o pensamento de seus leitores. O uso de imagens antropomórficas, como o ar que faz um “contínuo esforço para estirar-se” ou a Natureza que parece “deliciar-se com transmutações” reflete a proximidade entre sujeito e objeto da pesquisa. Sem o distanciamento, não há objeto a ser descrito, e o pensamento precisa encontrar outros meios de se expressar. Transparece a dificuldade de interpretar o novo domínio para o qual não há ainda termos, conceitos e princípios conhecidos. O pensamento busca recursos necessários para apreendê-lo. O esforço criativo para lidar com o novo leva os autores a abrirem mão da linguagem segura e em prol de outra capaz de lidar com o incerto. Essa opção não é inconsciente, pois ambos manifestam-se sobre isso, cada qual a sua maneira: Boyle advertindo seus lei-

⁵ Newton, 1704, pág. 39. Negritos acrescentados ao original.

tores sobre o caráter “conjectural” e provisório de suas afirmações; e Newton reservando uma seção especialmente dedicada a questionamentos em seu livro.

A imagem popular da linguagem da ciência, mencionada no início deste texto, se adequa aos períodos de “etiquetagem” (descrição), quando as dúvidas e os esforços de convencimento já foram superados. Porém, grande parte da atividade científica tem por base uma linguagem interpretativa e conformadora da teoria. Durante as fases iniciais e intermediárias de pesquisa, as estratégias retóricas de argumentação são importantes para construção de consensos. Toda linguagem nova é interpretativa, comunicativa e persuasiva, pois pretende instalar um coletivo de pensamento científico (Fleck, 1935). Nesse momento é mais fácil perceber a linguagem científica como um instrumento para provar idéias, para amparar a imaginação, para interpretar situações novas. Haveria uma associação entre, de um lado idéias ainda fluidas e linguagem interpretativa; e de outro, idéias aceitas e linguagem nominalizada (ou descritiva). Não há como saltar as etapas iniciais de pesquisa, quando a necessidade de estruturação do pensamento se manifesta pelo uso de uma linguagem mais solta. “Toda linguagem nova é poética e metafórica em um primeiro momento” (Faraday, 1845, apud Sutton, 1997, pág. 12).

No uso da linguagem reside um aspecto que torna o ensino da ciência uma empreitada difícil. A maioria dos jovens não tem consciência da dimensão interpretativa da linguagem científica. A comunicação, seja ela falada ou escrita, lhes parece apenas um relato sobre coisas pré-existentes. Mesmo no uso da linguagem não-científica, utilizada no cotidiano em livros, revistas e nas conversas entre amigos, a linguagem é concebida de maneira muito próxima a relatos sobre situações e objetos presentes no mundo. Isso fica evidente no tipo de relação que se estabelece entre as pessoas e os idiomas estrangeiros. Vou relatar um fato que marcou meu contato com a língua inglesa: com sete anos de idade, recebi, como presente de aniversário, uma mochila, cuja estampa reproduzia um jornal britânico. Minha madrinha que na época era uma das poucas pessoas da família a dominar o inglês com alguma segurança, se ofereceu entusiasticamente para traduzir o jornal para mim. Esperando de minha parte uma acolhida calorosa à sua proposta, qual não foi o espanto dela ao perceber minha expressão de pouco caso. Questionado, respondi que eu mesmo poderia traduzir o jornal com o auxílio de um dicionário. Acreditava poder encontrar para cada palavra em inglês um equivalente em português. Identificava a tradução como decodificação simples e, portanto uma operação mecânica, a qual mesmo uma criança como eu na época poderia realizar. Naquele momento não era capaz de entender o papel interpretativo da linguagem, reduzindo-a simplesmente a um sistema de etiquetas.

Traduzir seria trocar etiquetas. Essa concepção equivocada da linguagem deve ter contribuído negativamente na minha relação com as línguas estrangeiras em geral.⁶

As Linguagens interpretativa e descritiva participam do dia a dia de todos nós. Podemos listar coisas presentes no nosso cotidiano, como alimentos e roupas, e detalhá-las através de outros termos como doce e branco, curta e amassada. Podemos nos comunicar sobre fatos e situações concretas e presentes do mundo, atribuindo nome aos objetos e situações que vivenciamos. Procedendo dessa maneira, estamos descrevendo o mundo partilhado com os nossos semelhantes. A comunicação no dia-a-dia é fortemente amparada pela certeza de estarmos cercados de coisas consensualmente aceitas pelos indivíduos com quem convivemos. Ao nos referirmos as coisas do mundo, temos certeza de sermos entendidos, pois *sabemos* que nossos interlocutores partilham do mesmo mundo que nós, inclusive atribuindo aos objetos que nele existem os mesmos nomes, significados e funções. Ao dizer palavras como caneta, pedra, vaca, raiz, etc estamos na verdade exprimindo-nos sobre formas de representação pré-estabelecidas. O sucesso em nos comunicar evidencia que compartilhamos diversas noções com os indivíduos que nos rodeiam e mesmo com aqueles que não nos são tão próximos. Podemos também nos referir a situações imaginadas, acontecimentos passados, produzidos e armazenados em nossa memória.

Embora a linguagem não seja exclusividade dos seres humanos (pois muitos animais possuem sistemas sofisticados de comunicação), é no homem que ela se constitui no veículo para pensar o intangível. Mesmo a linguagem coloquial contém uma dimensão interpretativa. Determinadas situações são fortemente influenciadas pelo contexto, necessitando de julgamentos pessoal ou coletivo. As palavras se constituem em idéias intencionalmente elaboradas e ganham sentido dentro de contextos definidos. É mais fácil perceber isso, quando, por qualquer motivo, somos levados a nos confrontar com outras culturas. Viagens, livros, peças teatrais e filmes são situações que favorecem o “estranhamento cultural”, permitindo que sejamos confrontados a outros valores e referências.

Dentre as situações tratadas pela linguagem descritiva, além de coisas materiais como canetas, pedras e livros, encontram-se também coisas abstratas como aromas, melodias, sentimentos, mitos entre outros. Na medida em que podem ser pensados enquanto unidades de conhecimento e significação, tornam-se objeto através do mesmo processo de nominalização referenciado anteriormente. Por exemplo, para uma etnia indígena, o deus da caça se constitui em algo com existência própria, ao qual diversas características e habilidades podem ser associadas. Tal divindade, assim como os corpúsculos luminosos de Newton, é inferida de forma indireta, associando-se a ela responsabilidade por fatos observados. O consenso também aqui é

⁶ Essa concepção só foi modificada quando tive a oportunidade de vivenciar uma língua estrangeira durante um período de pesquisa e formação no exterior de quatro anos. Para mais informações sobre esse tema, ver Pietrocola, 2002.

fundamental, pois o grupo passa a acreditar na ligação entre o objeto e os processos observados.

De maneira geral, a linguagem humana vai além da comunicação direta e da descrição de coisas, servindo para dar forma às idéias e permitindo lidar com elas. No pensamento, pode-se forjar idéias e modificá-las. Altera-se uma idéia quando se é levado a considerar novos critérios. Isso permite entender por que um mesmo objeto pode ser diferente de situação para situação. Os atributos são fortemente influenciados pelas situações. A beleza, por exemplo, é um atributo com forte dependência contextual. Mas mesmo a beleza pode ser nominalizada. Podemos inserir a idéia de beleza dentro de um tratado sobre estética. Um tal tratado poderia se constituir em uma teoria sobre beleza, que permitiria o uso de uma linguagem menos poética e mais nominalizada, estabilizando, no seu interior, noções e propriedades, leis e princípios que reduziriam a margem de incerteza do discursos sobre ela. De posse deste tratado poderíamos, inclusive, entender melhor as diferenças culturais no emprego de tal termo. O contexto no qual a palavra é inserida constituiu-se num mundo de idéias que não tem uma relação exclusiva com a percepção direta do mundo mundo. Tal teoria refletiria a capacidade criativa de nosso pensamento, ao se apropriar de um novo conhecimento a partir de conhecimentos provenientes de outras área, seguindo um processo que inicialmente se ampara numa linguagem interpretativa e termina com nomes e definições, próprias de uma linguagem nominalizada.

A linguagem interpretativa ampara o pensamento imaginativo e permite pensar os objetos em construção. Por meio dela, a mente liberta-se do mundo imediato que nos rodeia e acessado pelos sentidos. Essa capacidade nos diferencia dos demais seres vivos deste planeta. Segundo Bronowski:

A existência de palavras ou símbolos para coisas ausentes, desde 'dia bonito' a 'impedimento definitivo', permite que os seres humanos pensem em si mesmos em situações que não existem realmente. Este dom é a imaginação, e é simples e forte, porque não é senão a capacidade humana de criar imagens no espírito e de as utilizar para construir situações imaginárias.⁷

A linguagem científica aprimora e sistematiza a linguagem comum, amparando o pensamento imaginativo na tarefa de prospectar o mundo para além do imediatamente dado. Inicialmente, a linguagem precisa ser interpretativa, para lidar com o novo. Em seguida, com a estabilização de processos em coisas, e com a criação dos objetos da ciência e das relações entre eles, a linguagem passa a descrever um novo mundo criado pelo pensamento e alojado na mente dos cientistas. Os discursos da ciência passam então a se dar em relação a esse mundo científico, fruto de uma imaginação poderosa, guiada pela razão e submetida ao teste experimental. Argumen-

⁷ Bronowski 1983, pag 33

tos são produzidos a partir do observado, do medido e dos conhecimentos anteriores. As novas aquisições no mundo da ciência são produzidos como resultado de debates, onde a coerência, a relação com o conhecido e com o mensurável são determinantes para se atingir o consenso.

Parte significativa das dificuldades do aprendizado das ciências se dá pela falta de consciência, por parte de professores e estudantes, sobre a dimensão interpretativa da linguagem científica. Em geral, as atividades de ensino das ciências são forjadas sobre as fases terminais do processo de produção de conhecimento. Problemas e exercícios são produzidos sobre conteúdos sedimentados, pois a transposição didática busca preferencialmente conhecimentos consensuais (Chevalard, 1991). Sistemas teóricos bem estabelecidos permitem que se domine com certa facilidade a proposição de problemas, **os procedimentos de resolução e com isso se gerencie com maior facilidade o contrato didático estabelecido na sala de aula (Brousseau, 1982)**. Esses conteúdos em geral são organizados em linguagem descritiva. Por exemplo, o ar é um conteúdo muito explorado nos programas de ciências do Ensino Fundamental. Esse tema é abordado por meio de uma linguagem nominalizada, onde o conceito de gás e suas características é apresentado na forma de uma longa e detalhada descrição. Por que não aborda-lo como fez Boyle ao tratar da aparente elasticidade do ar? Antropomorfismos pareceriam inapropriados ao discurso científico escolar, pois denotariam insegurança e falta de clareza. O mesmo seria dito do relato de alguma criança ou jovem numa sala de aula que por ventura se referisse ao ar, como algo que se “estica e se encolhe”. O mesmo poderia ser dito sobre outros conteúdos científicos ensinados na escola. Elétrons e prótons são apresentados nos livros como se se tratasse de revelações experimentais. Em alguns textos, chega-se a sugerir que átomos foram fotografados por microscópios eletrônicos, reforçando o aspecto descritivo da ciência.

Toda a fase interpretativa da ciência desaparece na transposição didática, impedindo uma ligação necessária com a dúvida e com a **incerteza**, entre processo e produto. Parece necessário aceitar que a apreensão de novos domínios pelo pensamento passe por uma fase interpretativa, antes de se atingir a dimensão nominativa. WATTS AND BENTLEY (1994) sugerem que seria aceitável uma certa dose de antropomorfismo na escola. Tal prática seria uma estratégia visando recuperar uma etapa necessária na organização do pensamento face ao desconhecido.

À medida que se atinge as fases mais avançadas do ensino de ciências, uma nova necessidade linguística se faz presente: o domínio da matemática. Essa linguagem passa a ser exigida daqueles que se deparam principalmente com os conhecimentos das ciências naturais e das tecnologias. Nessa fase, o domínio das matemáticas (álgebra, geometria, estatística) é considerado condição de sucesso no contexto escolar. Nos cursos básicos para cientistas e engenheiros é comum professores alega-

rem que seus alunos não entendem o conteúdo devido à fragilidade de formação matemática. Para muitos, uma boa base matemática nos anos que antecedem o ensino científico é garantia de sucesso na aprendizagem das ciências.

É inegável que a Matemática está hoje, mais do que nunca, alojada de forma definitiva no seio das ciências. Isto fica claro quando nos voltamos para os produtos da atividade científica. Nos livros e artigos científicos é cada vez mais comum encontrar tratamentos matemáticos sofisticados com o uso de funções, equações, gráficos, vetores, tensores, inequações, geometrias etc.⁸ Professores não têm dúvidas de que sem habilidades em lidar com operações matemáticas (e não se tratará de conhecimentos elementares à medida em que se aprofunda na área) não é possível realizar boa ciência. Boa parte dos cursos básicos de ciências é dedicada à formação de uma sólida base matemática sobre a qual os conhecimentos específicos poderão ser assentados. Pensando nas primeiras fases dos cursos universitários de ciências básicas, como a Física e a Química, disciplinas específicas dessas áreas partilham o grosso dos currículos com disciplinas de conteúdo matemático. Apenas pela estruturação curricular é, muitas vezes, difícil saber se se trata de um legítimo curso de ciências! Muitas vezes essa indiferenciação é responsável pela desmotivação de parte dos alunos que ingressam em tais cursos, por acharem que há pouca ênfase no conhecimento que elegeram como opção profissional. Os pré-requisitos matemáticos são, por vezes, excessivos, contribuindo para os elevados índices de abandono freqüentes no início de tais cursos⁹. As soluções encontradas pelos formuladores de currículos em geral apelam a um pragmatismo excessivo, re-afirmando a necessidade de aprender Matemática para fazer Ciências.

Na Educação Básica, esse problema assume contornos muito específicos, devido ao caráter não-profissionalizante do ensino. Na perspectiva de uma educação geral e formativa do cidadão, os compromissos do ensino não se vinculam apenas com as necessidades intrínsecas da atividade profissional do cientista. O ensino das ciências no Ensino Médio não pode (e não deve) ser visto como estágio anterior a uma formação científica profissional. O pré-requisito matemático torna-se fardo insuportável para os alunos do Ensino Médio, pois implica em pedir aos mesmos que se submetam ao ensino de algo para o qual não vêem necessidade.

Na organização curricular do Ensino Médio há também uma estrutura de pré-requisitos que faz com que os conteúdos presentes numa disciplina articulem-se com aqueles presentes em outras. No ensino de Física, por exemplo, a relação com a Matemática é sintomática, e se coloca como quebra-cabeça de difícil solução. Os professores de Física gostariam que seus alunos chegassem à sala de aula com os pré-requisitos matemáticos completos. Em contrapartida, os professores de matemática não aceitam (corretamente) que sua disciplina seja pensada apenas como instrumento para outras disciplinas, impondo uma programação que nem sempre se articula com

⁸ Mesmas Áreas até então de exclusividade da linguagem escrita, como a Economia, se rendem hoje às facilidades de organização e tratamento de dados.

⁹ A média de abandono de cursos de Física, por exemplo, é da ordem de 30% no final do primeiro ano.

aquela da disciplina Física. No primeiro ano, em particular, a cinemática se apóia fortemente em conhecimentos sobre funções que são anteriores ou dados em paralelo a esta. Não é incomum que os professores se esmerem na interpretação física de problemas, encaminhando soluções até o formalismo matemático e digam: "daqui para frente é só matemática". Isto sugere que, uma vez entendido o problema do ponto de vista físico, dali para frente as competências não se vinculam mais àquela disciplina. A solução do problema matemático passaria a depender de habilidades obtidas em outra disciplina. Nessas condições, os professores de Física acabam por atribuir à Matemática responsabilidade pelas dificuldades na aprendizagem e não naquilo que ensinam. Erros de alunos na resolução de equações do segundo grau, no cálculo de coeficientes angulares de curvas em gráficos, na solução de sistemas de equações etc, são comuns, reforçando a idéia de que se trata de falta de conhecimento matemático. Admitir que boa parte dos problemas do aprendizado da Física se localiza no domínio da Matemática reflete um posicionamento epistemológico ingênuo - acaba-se por atribuir à segunda função de *instrumento* da primeira!

Essa postura mascara uma questão fundamental, qual seja entender as relações que as ciências em geral, e as ciências da natureza em particular, entretém com a Matemática. Essa questão é assim formulada por Lautman, "há um real físico e o milagre a ser explicado é que haja necessidade das teorias matemáticas mais desenvolvidas para explicá-lo"¹⁰. A matemática, enquanto conhecimento constitutivo das ciências naturais, vive o eterno dilema¹¹ de se colocar entre o *concreto* e o *abstrato*, entre a *razão* e a *experiência*. Entendê-la como linguagem privilegiada de lidar com as idéias capazes de apreender a realidade do mundo é uma maneira de enfatizar o seu caráter interpretativo. Esta problemática, quando avaliada na perspectiva educacional, parece induzir a uma conclusão preliminar: há necessidade de aprofundar o papel da linguagem na constituição do conhecimento científico. Da forma como se apresenta, a Matemática configura-se como um obstáculo.

Uma maneira produtiva de refletir sobre as relações entre linguagem matemática e o ensino de conhecimentos científicos é considerar a evolução histórica do pensamento sobre o mundo natural. Foram necessários séculos, senão milênios, para que o pensamento científico pudesse se apoiar em linguagem matematizada.¹² Dos gregos aos iluministas franceses, episódios históricos podem revelar as dificuldades do pensamento científico em se estruturar a partir da geometria, da álgebra e de outros sistemas lógicos para interpretar os fenômenos naturais. Esperar que nossos estudantes incorporem naturalmente a linguagem matemática como instrumento de seu pensamento é acreditar que a linguagem científica sempre descreve um mundo previ-

¹⁰ Albert Lautman, apud Paty (1989), pag. 235.

¹¹ Paty afirma que isto se constitui num "*drama* entre o real e o abstrato simbólico". Paty (1989), pag. 234.

¹² Para isso ver PATy, 1989.

amente organizado. É acreditar que a existência de teorias matematicamente estruturadas na ciência tenha prescindido etapas anteriores, quando os símbolos matemáticos ainda não representavam conceitos.

Vigostki, ao escrever sobre a pré-história da linguagem, afirma que uma criança pode desenvolver por conta própria a linguagem falada. Mas que a linguagem escrita lhe é artificial e, portanto, precisa ser ensinada.¹³ E acrescenta que o ensino da escrita é feito tecnicamente. Essa percepção do ensino da linguagem como técnica é válido ainda hoje, não só para a linguagem escrita como também para a linguagem matemática na ciência. Professores acreditam que pelo fato dos estudantes dominarem operacionalmente alguns sistemas matemáticos, como funções, geometria, coordenadas cartesianas etc, estão habilitados a tratar os fenômenos naturais através deles. Como se apenas o domínio técnico fosse necessário ao pensamento científico para apreender o mundo. Esquecem-se que o pensamento não descreve matematicamente o mundo, mas inicialmente interpreta para em seguida descrevê-lo. Tanto a linguagem escrita como a linguagem matemática são sistemas particulares de símbolos e signos, que para além da dimensão técnica, constituem-se em representações de coisas que transcendem os próprios significados internos. Ambas linguagens são simbolismos de segunda ordem: na escrita, signos representam sons e palavras que reproduzem a fala, os quais são por sua vez signos de relações e entidades do mundo. Nesse caso, a fala é o elemento intermediário entre o mundo e as palavras escritas. O mesmo acontece com a linguagem matemática: os símbolos e signos matemáticos, representam, na Física, por exemplo, conceitos, que por sua vez representam objetos do dito mundo científico (referente da linguagem descritiva, acima apresentada). No entanto, o uso prioritário da linguagem escrita, assim como aquele da linguagem matemática na ciência, está diretamente ligado na designação das entidades do mundo e em suas relações. Ou seja, com o uso contínuo, tais linguagens tornam-se linguagens de primeira ordem sobre o mundo. Quando isso acontece, o pensamento não mais considera o estágio intermediário dos símbolos matemáticos em si, mas apropria-se da linguagem matemática enquanto estrutura diretamente relacionada à parte do mundo que pretende representar o funcionamento. A linguagem matemática passa a ser *estruturante* do pensamento científico e permite organizar o conhecimento¹⁴. Físicos não pensam a partir da linguagem comum (coloquial), mas tomando a linguagem das matrizes e das funções de probabilidades, que servem para representar átomos e moléculas. Cosmólogos organizam seu pensamento em conformidade com os ditames da linguagem tensorial. Químicos, biólogos, e mesmo economistas, dispõem de linguagens matemáticas específicas para lidar com seus campos específicos. Para grande parte dos cientistas de hoje não há alternativa: os problemas e soluções importantes

¹³ Vigostki, L.C., 1991, pag.139.

¹⁴ Para mais detalhes sobre o papel estruturante da matemática, ver Pietrocola, 2002.

devem ser pensados matematicamente, ou seja, em conformidade com determinadas linguagens matemáticas consagradas pelo uso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora outros seres vivos também se comuniquem, a linguagem criativa, que interpreta, lança idéias, argumenta é exclusividade dos seres humanos. De posse desse uso da linguagem, a mente humana ultrapassa o mundo imediatamente acessível à percepção e se lança no espaço e no tempo. Assim, o que nos separa dos demais seres vivos não é a linguagem como forma de comunicação, mas a capacidade que temos de criar um mundo de idéias através da linguagem. O universo de palavras de um ser humano é cerca de dez mil vezes maior do que o de um macaco Rhesus. Essa diferença reflete nossa capacidade de imaginar aquilo que não tocamos, não vemos e não acessamos com nossos órgãos de sentidos, e nos permite construir um rico mundo de idéias. Ou seja, o nosso pensamento articula-se através das palavras que construímos e passamos a nos comunicar por meio delas e através delas, sem intermediação. As palavras são idéias codificadas e são a matéria prima do nosso pensamento. Integrando palavras em frases, expressamos idéias e pensamentos. A linguagem humana é o testemunho da maneira como o pensamento lida com as idéias, articulando-as umas às outras na construção de significados.

Nem sempre existe uma correlação direta entre os significados presentes no mundo das idéias com aqueles do mundo real. Neste caso, estamos no domínio exclusivo da pesquisa que move nosso pensamento em direção ao novo. Nessa empreitada, a linguagem deve ser entendida como a forma que temos de estruturar nosso pensamento visando interpretar os fenômenos do mundo que chamam nossa atenção. A ciência sofisticou o uso da linguagem, determinando modalidades especiais para cada fase da pesquisa. A linguagem mais interpretativa serve bem aos momentos iniciais, quando os problemas e as dúvidas fazem inevitavelmente parte do processo; a linguagem mais descritiva prestasse bem aos domínios mais estudados e seguros, onde as respostas muitas vezes superam as perguntas inicialmente formuladas; e finalmente, a linguagem matematizada se caracteriza por participar dos momentos em que a ciência é capaz de transcender a linguagem de segunda ordem e passar a pensar a partir dos próprios conceitos contidos em sistemas formais. Nessa fase final, exercitamos um tipo de pensamento característico das ciências. Nele, o pensamento descola-se do mundo imediato e liberta-se para prospectar com segurança os limites do mundo conhecido, atingindo a intimidade da matéria, os confins do Universos, os li-

mites da percepção humana. Bachelard já afirmava que a força da Matemática reside no fato dela ser "um pensamento seguro de sua linguagem"¹⁵.

Permitir que os estudantes percebam as possibilidades do pensamento científico deveria ser parte dos objetivos da educação científica. Porém deve-se ter clareza que uma ênfase restrita ao domínio técnico de tal linguagem não é suficiente. É preciso ensinar os estudantes a apreender o mundo através das várias linguagens da ciência, destacando o papel e a função desempenhada por cada uma delas. Em particular, a Matemática vem se tornando cada vez mais uma linguagem dos vários ramos da ciência. Assim, seria importante que o ensino das ciências em geral, e mesmo o ensino da matemática, contemplasse o papel por ela desempenhada na estruturação do pensamento. Sem isso, será difícil que os conhecimentos mais recentes produzidos pela ciência possam ser objeto de ensino nas escolas.

¹⁵ Citado por Paty 1989, pag. 236, nota 17.

Bibliografia

- ASSIS, A., 1996, "Apresentação", in *Optics de Newton*, Tradução brasileira, EDUSP, São Paulo, SP, 1996.
- BRONOWSKI, J., 1983, *Arte e Conhecimento, ver, imaginar, criar*, Martins Fontes, editora, São Paulo, 1983.
- BROUSSEAUX, G.1982,, "Les objets de la didactique des mathématiques". *Atas do Seminario de la 2^e école d'été de didactique des mathématiques*, França, 1982.
- CHEVALLARD, Y.,1991, *La Transposition Didactique- du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensee Sauvage Éditions. Grenoble. 1991.
- FLECK, L. (1935), *Genesis and Development of a Scientific Fact*, Chigaco University Press, Chicago, 1978.
- HALLIDAY, M.A.K. and Marton, J.R.(1993), *Writing science: literacy and discursive power*, Pittsburgh, Pa: University of Pittsburgh Press, 1993.
- MILLAR, R. (1989), "Doing Science: image of science in science education", Lewes, Falmer editions, 1989.
- NEWTON, I. 1704, *Óptica*, tradução brasileira a partir da quarta edição, Edusp, 1996.
- PATY, M. 1989, *Matéria roubada*, Edusp, SP, 1995.
- _____ 1993, *Einstein Philosophe*, PUF, Paris, 1993.
- PIETROCOLA, M., 2002, "A Matemática Como Estruturante Do Conhecimento Físico", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.19, n.1: p.88-108, ago. 2002
- RYAN E AIKENHEAD (1992), *the development of a new instrument:views on science tecnology and society(VOST)*", in *Science Education*, vol. 76, n5, pp. 477-491.
- SELLEY, N. (1989), *Philosophies of science and their relationship to scientific process and the science curriculum*, in J. Wellington, *Skills and Process in Science Education*. Londres. Routledge, 1989.
- SUTTON C.(1997), *Ideas sobre la CIÊNCIA e Ideas sobre el Lenguage*, in *Alambique Didactica de las Ciencias Experimentales*, n 12, pp 8-32, 1997
- VIGOSTKI, L.C.,1991, *A formação social da mente*, São Paulo : Martins Fontes, 1991
- WATTS, M. AND BENTLEY, D., 1994, "Humanising and feminising school science; reviving anthropomorphic and animistic thinking in constructivist science

education”, in *International Journal of Science Education*, 1996, vol. 18, n , pp1-18.