

ELIO CARLOS RICARDO

FÍSICA

Texto elaborado em versão preliminar para subsidiar as discussões dos seminários regionais e nacional referentes aos rumos que serão dados ao ensino de física a partir dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio.

Brasília
Setembro de 2004

FÍSICA

Elio Carlos Ricardo
[elio_ricardo@hotmail.com] [elio@ucb.br]

Este texto foi elaborado com a finalidade de oferecer subsídios para as discussões sobre os documentos do Ministério da Educação que norteiam a proposta de reforma do ensino médio para a disciplina de física. É uma versão preliminar, elaborada em prazo curto, que irá se somar às reflexões e aprofundamentos que resultarão dos seminários regionais e nacional a respeito dos encaminhamentos que serão dados a esse nível de ensino, contando com a participação de especialistas da área, professores atuantes e técnicos das secretarias de educação dos Estados e Distrito Federal.

A característica deste documento é analítico-propositiva. Ou seja, consta de uma análise dos princípios fundamentais da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de 1996, das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs) e PCNs+¹, e, ainda, da proposição de compreensões e encaminhamentos possíveis, não para dizer aos professores como fazer, mas para convidá-los a reorientar, se necessário, suas práticas de sala de aula de acordo com as necessidades de sua comunidade escolar. Para isso, as proposições contemplarão também instrumentos teóricos fundamentais para análise e reflexão do que vem sendo realizado na sala de aula em relação ao ensino da física, não para aplicar a teoria na prática, mas para mudar a prática.

Em um momento histórico em que a humanidade parece contemplar um aumento das desigualdades sociais, da miséria, dos conflitos, do desemprego, fica mais difícil supor que há modelos alternativos de sociedade. Some-se a isso o que J. Habermas² chamou de crise do *Estado Social* e do *esgotamento das energias utópicas*. A impressão que se tem é que só resta adaptar-se. Seria isso o que vem se chamando de *nova ordem mundial*? Haveria outras saídas? Se a resposta a essa pergunta for negativa, estamos diante de uma crise maior: uma crise humana. O homem terá perdido a aposta que fez na modernidade. Todavia, se a resposta for afirmativa e se é verdade que a escola tem papel fundamental na constituição da sociedade, então essa escola terá que deixar de ser mero cenário burocrático na vida dos alunos e passar a ser um ambiente de formação para a autonomia, para se buscar saídas, e não para formatá-los de acordo com o mercado.

Essas questões dizem respeito também aos professores de física, pois antes de tudo somos educadores e fazemos parte da constituição subjetiva dos nossos alunos. Caberia colocar questões amplas como: que sujeito queremos

¹ PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

² HABERMAS, Juergen. A Nova Intransparência: a crise do estado de bem-estar social e o esgotamento das energias utópicas. Novos Estudos n.18, setembro de 1987.

formar e para qual sociedade? E, em seguida, como a física pode contribuir para tais objetivos?

Certamente uma física amparada em acúmulo de informações e intermináveis pré-requisitos contribuem pouco para a autonomia do aluno, pois fica a seu encargo juntar o que aprendeu e utilizar para compreender e intervir em sua realidade vivida. É permitido duvidar que isso aconteça.

Isso se torna mais verdadeiro quando nos referimos ao ensino médio, que coincide com uma etapa da vida do aluno em que muitas decisões serão tomadas e terão reflexos futuros, como escolha da profissão e/ou prosseguimento nos estudos. Aliado a isso, é conveniente o professor compreender o cenário sócio-político-econômico mundial e nacional, para discutir com propriedade as propostas de reformas que vêm surgindo no contexto brasileiro, em especial a educacional, iniciada em 1996 pela promulgação da LDB, bem como os documentos oficiais dela decorrentes, os quais passamos a tratar.

I. A LDB e as Diretrizes Curriculares

A elaboração da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional foi o resultado de um processo político que se deu no Congresso Nacional. Por essa razão, é natural incorporar em seu texto as tendências da época. Também é explicável a ênfase dada pela Lei à preparação para o trabalho, pois a população cobrava ações do governo nessa direção. Tais indícios ficam claros no Art. 35, que trata das finalidades do ensino médio:

Art.35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

- I – a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;
- II – a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
- III – o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;
- IV – A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Esse artigo, associado aos artigos 21 e 22 da mesma lei, dá ao ensino médio uma identidade: a de etapa final da educação básica, da qual se espera uma formação suficiente para proporcionar ao seu egresso o exercício de seus direitos e deveres, ao que se costuma denominar cidadania.

Somente essa nova identidade dada ao ensino médio já seria suficiente para exigir uma reorientação nas escolhas de conteúdos e estratégias didáticas freqüentemente adotadas nesse nível de ensino. É preciso que o ensino médio tenha objetivos mais amplos que o acúmulo de informações a serem, supostamente, utilizadas em etapas posteriores de estudo. Não tem sentido um

ensino médio preso unicamente nas expectativas do vestibular. Essa pode ser uma de suas preocupações, mas não a única. Além disso, não há garantias de que vencendo o programa previsto o aluno passará no vestibular. A impressão que se tem é de que o professor, quando vence o extenso conteúdo, fez a sua parte e agora cabe ao aluno estudar. Mas, o que nos garante que a aprendizagem foi efetiva? E aqueles que não passarem no vestibular, de que serviu a física que aprendeu na escola? Vale lembrar que o número maior de alunos se encontra nesse último grupo!

Aliado a isso, o número de aulas semanais de física é pequeno. Isso implica a necessidade de escolhas de conteúdos que explorem conceitos e princípios fundamentais da física e não uma seqüência de pré-requisitos que possam ser utilizados apenas em uma etapa posterior de ensino, em especial, o ensino superior. É disso que trata o primeiro item do artigo acima ao destacar o ensino médio como oportunidade de aprofundar os conhecimentos adquiridos no nível fundamental e possibilitar ao aluno seguir seus planos pessoais e coletivos, lembrando que prosseguimento nos estudos não se resume unicamente ao exame vestibular.

O inciso II do Art. 35 da LDB/96 talvez encerre o foco principal das críticas aos documentos do MEC: a preparação para o trabalho. A forma como está escrito, sugere que a escola terá o papel de formar sujeitos adaptados, ou adaptáveis, ao mundo do trabalho, sem qualquer possibilidade de colocar em discussão as condições de trabalho e de produção. Essa visão fatalista incomoda. É essa a *nova ordem mundial*?

É aceitável que a escola prepare os alunos também para o trabalho, pois efetivamente eles irão buscar alguma ocupação, desde que se diferencie o trabalho em sua dimensão ontológica da *praxis* humana, na perspectiva de um humanismo contemporâneo, da preparação do trabalho como fim, sem reflexão da sua dimensão econômica e das relações de produção. Isso vai depender ainda da comunidade escolar que temos em mãos. Analisem a situação de um aluno que sai do ensino médio e irá procurar trabalho e ao ser solicitado pelo empregador a fazer uma carta de solicitação de emprego e proposta salarial, bem como seu currículo, não o saiba fazer. De nada adiantará a esse aluno dizer ao empregador que, embora não saiba fazer o que lhe pedem, conhece a Lei de Coulomb, a Lei de Lenz, sabe construir imagens em espelhos e etc.! Mas isso não é responsabilidade da disciplina de física, dirão alguns. De outra parte, poderiam ser trabalhados textos e exercícios de escrita nas aulas de física, ao se detectar as grandes deficiências dos alunos nessa área.

Nesse mesmo inciso aparece ainda a necessidade do aluno continuar aprendendo. Esse é outro ponto de críticas. Espera-se que o aluno continue aprendendo o que lhe for relevante para depois da escola, mas há que se considerar os diferentes acessos à informação em razão das desigualdades econômicas. O princípio do aprender a aprender também está presente nas Diretrizes Curriculares e será discutido mais adiante, assim como a referência ao desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico do aluno e a inclusão dos fundamentos tecnológicos nos conteúdos de ensino.

Antes disso, cabe discutir alguns dos pressupostos fundamentais presentes nas DCNEM, que têm caráter de obrigatoriedade, por traduzirem os princípios da LDB/96. De imediato vale esclarecer que muitas críticas dirigidas aos PCNs estão, na verdade, fazendo referência às Diretrizes Curriculares. Embora o nome de um dos principais documentos do MEC referentes à reforma do ensino médio seja intitulado “Parâmetros Curriculares Nacionais”, esse documento contém a LDB/96, o Parecer 15/98, da Câmara de Educação Básica (CEB) – do Conselho Nacional de Educação (CNE), a Resolução CEB/CNE nº 03/98 que estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e, finalmente, os Parâmetros Curriculares Nacionais. Estes servem de subsídios para os professores e escola repensarem o ensino médio na perspectiva do que propõem a LDB e as DCNEM, não sendo, portanto, obrigatórios. Essa confusão vem causando equívocos tanto nas escolas como no meio acadêmico.

As Diretrizes Curriculares expressam a interpretação da Lei e as convicções teóricas da relatora indicada pelo Conselho Nacional de Educação. Traduzem os pressupostos fundamentais da LDB/96, que estava em linguagem técnico-legislativa para linguagem técnico-educacional. Ao mesmo tempo em que transpõe esses fundamentos legais, incorpora em seus textos o discurso acadêmico, especialmente do meio educacional, para garantir uma maior aceitação no ambiente escolar. Nessa via, aparecem termos como interdisciplinaridade, contextualização, competências, habilidades, aprender a aprender e outros que não são novos. Por outro lado, em razão da generalidade com que foram abordados, a pouca compreensão desses termos causa dificuldades na implementação das propostas de reforma contidas nos documentos oficiais na sala de aula.

Aliado a isso, vale dizer que, mesmo não sendo novos no discurso educacional, tais termos ou noções estão longe de um consenso quanto a suas interpretações. E, cabe ainda destacar, que não se pode reduzir uma política educacional, ou mesmo uma reforma educacional, à edição e distribuição das DCNEM e PCNs, pois esses documentos, por si próprios, nada mudam o ensino. A garantia de ampla discussão e de condições aos atores mais importantes dessa reforma, os professores, apropriarem-se dessas idéias e, julgando-as relevantes para suas comunidades escolares, resolverem implementá-las é que poderá resultar em uma reorientação no que se vem fazendo na escola. Há outras providências que escapam do campo didático-pedagógico e, portanto, não serão objetos desse documento.

Antes de falarmos mais especificamente do ensino da física, vamos tratar de alguns dos princípios gerais presentes nas DCNEM e de possíveis interpretações, acompanhadas de algumas críticas já presentes na literatura. Essa será a metodologia utilizada, tendo como princípio que as disputas não são um mero problema de palavras, mas que talvez devessem ser estudadas as teorias e questões a que se propõem resolver, conforme nos recomenda o filósofo austríaco Karl Popper³.

³ POPPER, Karl R.. A Lógica da Pesquisa Científica. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octanny S. da Mota. São Paulo: Cultrix, 1974.

Um dos temas que tem causado muitas discussões é o ensino por competências e, de imediato, é possível dizer que não está claro nas DCNEM. Há um conceito formal de competências e habilidades nas Matrizes Curriculares de Referência do SAEB (Sistema de Avaliação da Educação Básica), mais ligado ao campo cognitivo, muito embora nas Diretrizes e Parâmetros as competências e habilidades estejam mais associadas a um saber fazer, ainda que se incluam competências que envolvam tomada de atitude e emissão de juízo de valor diante de determinadas situações.

A noção de competências aparece já na LDB/96, em seu Art. 9, inciso IV, mas é nas Diretrizes Curriculares que assume a condição de um novo perfil para o currículo, “*apoiado em competências básicas para a inserção de nossos jovens na vida adulta*” (Brasil, 1999, p.13)⁴. Isso se soma à nova identidade dada ao ensino médio que passa a buscar uma formação geral em oposição à formação específica, mais precisamente rompendo com o que se tinha anteriormente: formação profissional ou propedêutica. Por essa razão, as DCNEM destacam que para o novo ensino médio “*prioriza-se a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico*” (Idem, p.25).

Embora não se tenha um conceito formalizado do que sejam as competências e as habilidades nos textos das Diretrizes Curriculares e dos Parâmetros, é possível verificar que a idéia central é a ampliação dos objetivos educacionais para além do acúmulo de informações. Os conteúdos escolares passam a ser meio e não fim e o que se busca construir na escola é a possibilidade não apenas de apropriação dos conteúdos específicos, mas a gestão destes em etapas posteriores ao tempo escolar. Nessa perspectiva, os objetivos acima passam a ter sentido.

Para as DCNEM também são competências a capacidade de abstração, a capacidade de pensar múltiplas alternativas para a solução de um problema, a capacidade de trabalhar em equipe, de disposição para procurar e aceitar críticas e assim por diante. Mas, em quais disciplinas escolares tais competências devem ser trabalhadas? Essa questão sugere uma mudança nas práticas educativas, pois os conteúdos disciplinares, por si próprios, não levam a competências dessa natureza.

Ocorre, com freqüência, a confusão das competências e habilidades, nos meios escolares, com os antigos objetivos gerais e específicos, o que é discutível. A chamada pedagogia por objetivos encerra-se em si mesma, nos conteúdos, o que não ocorre com a noção de competências. Uma possibilidade de interpretação para a noção de competências, especialmente para o caso do ensino da ciência/física, seria entendê-la sob dois aspectos: **colocar a relação didática em perspectiva; e assumi-la como um problema de transposição didática**. Antes disso, vale resgatar algumas críticas feitas acerca das competências.

Não há um consenso do que seja um ensino por competências e as críticas se dicotomizam entre os favoráveis e os desfavoráveis, incluindo-se

⁴ BRASIL, MEC, SEMTEC. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC, 1999.

ainda discursos ideológicos, com sentido de oposição com fim em si mesma. A vertente contrária à institucionalização das competências tem sua origem predominantemente na sociologia do trabalho. No entanto, algumas das questões levantadas se aplicam ao campo educacional, muito embora tal transposição deva ser feita com cuidado, pois se referem a contextos distintos.

O discurso das competências tem um potencial mobilizador por apresentar-se como uma solução para a aproximação entre a escola e o trabalho e ao problema do desemprego. Ocorre que em vez de considerar o contexto do trabalho, a noção de competências parece sugerir uma formação que prepare o indivíduo para constantes mudanças, num cenário de instabilidade e competição. A escola passaria a se preocupar com uma preparação para a adaptabilidade a uma formação para a intervenção crítica e criativa na realidade vivida, com objetivos mais amplos que a individualidade estrita.

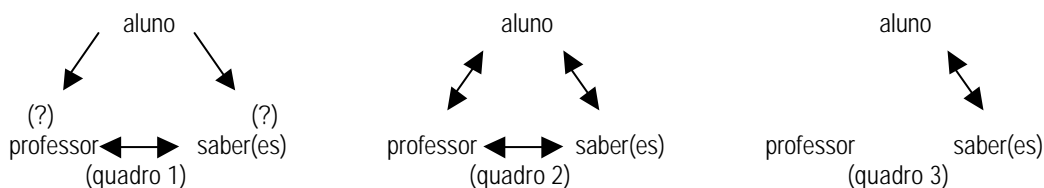
Ao mesmo tempo em que a noção de competências sugere uma formação ampla, com vistas à promoção do exercício do senso crítico nos alunos, freqüentemente se mostra expressa em objetivos pragmáticos, restritos a um saber-fazer imediato. Lucie Tanguy⁵, entende que isso seja um paradoxo, já que toda a competência está ligada/associada a uma tarefa, o que parece ser uma transposição do ensino profissionalizante, para o qual a ação é o mais importante. Seria uma tentativa de legitimar os saberes escolares na prática? Essa ponte entre a escola e o trabalho não é tão simples e, além disso, qual seria a prática da física, ou da química, ou da geografia? A relação entre teoria e prática tem diferentes *status* na formação geral e na formação profissional. Esse é um problema de referência dos saberes a ensinar, que será tratado mais adiante.

No entanto, é possível atribuir outra compreensão para a noção de competências, ou, mais especificamente, para um problema referente à relação didática. Um dos autores que trata do ensino por competências é Philippe Perrenoud⁶, para o qual a competência estaria associada a uma mobilização de recursos cognitivos, entre estes o conhecimento, em situações distintas daquelas às quais tais recursos foram trabalhados, para além da escola, por exemplo. E, as habilidades seriam competências mobilizadas em situações específicas, embora não se possa atribuir *status* mais nobre às competências. Seria possível, então, **colocar a relação didática em perspectiva**, ou seja, pensar em um tempo para depois da escola. Vamos partir dos esquemas abaixo⁷:

⁵ In: ROPÉ, Françoise; TANGUY, Lucie. Saberes e Competências: o uso de tais noções na escola e na empresa. São Paulo: Editora Papirus, 2001.

⁶ PERRENOUD, Philippe. Construir as Competências desde a Escola. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.

⁷ Extraído de: JONNAERT, Philippe. Dévolution versus Contre-devolution! Um tandem incontournable pour le contrat didactique. In: RAISKY, Claude; CAILLOT, Michel. Au-delà des Didactiques, le Didactique: débats autour de concepts fédérateurs. Bruxelles: De Boeck & Larcier, 1996.



As múltiplas variáveis que se encontram no contexto da sala de aula vão além da estreita relação entre professor, aluno e saber, o que a torna dinâmica e complexa. Cada um desses atores comporta outras variáveis, tais como: as relações pessoais com os saberes, embora exista um saber presente nos programas resultado de uma didatização, e uma assimetria entre professor e aluno/alunos frente aos saberes, tanto quantitativa como qualitativa, que constitui o motor da relação didática. Essa relação didática comporta ainda um conjunto de regras, implícitas e explícitas, que regem as responsabilidades recíprocas dos seus atores; ao qual se costuma chamar de contrato didático.

A relação didática está inserida em um espaço-tempo definido: a escola. No entanto, existe uma dimensão longa da aquisição do conhecimento em um tempo extraclasse, no qual se espera que o aluno disponha de “ferramentas intelectuais” para mobilizá-las em diferentes contextos. Essa transposição para novos contextos não está ao alcance do professor, pois se dará fora da escola na maioria das vezes e não há garantias que de fato ocorra. É possível que o aluno tenha uma “física” para a sala de aula e exames, e uma “física” para seu cotidiano.

É isso que mostram os esquemas acima. Ou seja, no quadro 1 tem-se o início de uma relação didática, na qual o aluno ainda não tem uma relação estabelecida com o professor, nem com o saber da física, se tem é uma relação frágil e está associada a concepções espontâneas e representações, que são verdadeiros obstáculos à aprendizagem desejada, pois servem como explicação funcional para o aluno para determinados fenômenos. Há inclusive certa transversalidade nesse modo de raciocínio, o que exigirá um trabalho didático longo para sua superação.

No quadro 2, a relação didática se estabelece e o aluno “entra no jogo”. Isso se dá no espaço-tempo da escola, sob a mediação do professor que é o principal orientador dos passos dos alunos, pois detém o poder das escolhas didáticas, embora a negociação desse contrato didático não seja unilateral.

No quadro 3, o professor sai de cena, já que tal situação se dará em um tempo extra-classe, para além da escola, no qual o aluno continua a manter relações com os saberes. Todavia, o que se espera de uma situação didática é que essas relações com os saberes se modifiquem. Conforme ressalta P. Jonnaert, “a função da relação didática é de fazer evoluir esta relação com os saberes” (1996, p.123). **E será justamente nesse contexto que a pertinência dos saberes escolares estará a prova.**

A noção de competências ilumina esse aspecto ao colocar em discussão a pertinência dos saberes ensinados na escola e questionar sua mobilização

em novos contextos. A construção de competências não se encerra na escola, mas é o ambiente no qual se pode oferecer subsídios e possibilidades aos alunos para que tal construção ocorra. Embora se vislumbre um tempo extraclasse, tal dimensão da relação didática não estará mais ao alcance do professor. Por essa razão, é preciso se preocupar com o tempo curto da relação didática, que está ao nosso alcance, no contexto da escola. Todavia, isso não é tarefa fácil!

As pesquisas em ensino de física já somam um grande conjunto de concepções espontâneas e representações dos alunos que persistem mesmo após a conclusão da escolaridade básica. Algumas delas guardam semelhanças com teorias históricas de períodos pré-científicos e entre sistemas de ensino distintos. Ocorre, entretanto, que algumas dessas concepções são o resultado de escolhas didáticas equivocadas, de erros em materiais didáticos, do uso exagerado de fórmulas para resolução de problemas isolados, da concepção de ciência do professor entre outros fatores. Isso constitui um obstáculo didático. A física como é apresentada na maioria dos livros didáticos, excessivamente modelizada, distancia-se do aluno e o leva a desacreditar que tenha qualquer relação com o mundo real. Este aluno é convencido pelas teorias científicas sem compreendê-las, recebe-as como uma espécie de crença.

Algumas dessas pesquisas apontam que haveria pelo menos três etapas no tratamento didático dessas idéias prévias, ou obstáculos, dos alunos, todas interligadas. A primeira é a localização, onde se dá a tomada de consciência pelo aluno das suas concepções e o que o impedem de aprender. Dependerá das escolhas didáticas do professor a possibilidade da emergência dessas idéias prévias, sabendo-se que o acesso às relações pessoais com os saberes não é trivial. A segunda etapa consiste no confronto entre os saberes científicos e os saberes das relações pessoais. E, a terceira etapa engendra a superação do obstáculo, bem mais no sentido de evitá-lo, pois se presume uma coabitação entre esses saberes. Resta saber qual será mobilizado diante de determinadas situações.

Nessa terceira etapa haverá necessidade de dispor para o aluno um modelo explicativo satisfatório para modificar suas relações pessoais com os saberes. Espera-se que o aluno construa novas “ferramentas intelectuais” mobilizáveis. Poder-se-ia ainda subdividir a última etapa em outras duas, que contemplariam a *reestruturação* de um novo conceito e a *automatização* de seu uso⁸. No entanto, essa etapa escapa ao controle do professor.

Ao mesmo tempo em que o exposto acima coloca em perspectiva a relação didática para além dos muros escolares, mostra-nos que o processo de aprendizagem é complexo. Isso coloca em xeque a idéia bastante comum de que nossos alunos não aprendem física por não saberem matemática. Os problemas são de outras ordens. Parece-nos que um ensino de física apoiado no acúmulo de pré-requisitos e que apresenta aos alunos situações

⁸ Para mais detalhes ver: RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE Jr., M. F.. A Relação Didática, os Obstáculos à Aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais. II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição: reflexões para o ensino. FE/UFMG. Belo Horizonte. Atas eletrônicas. 2003.

excessivamente modelizadas e padronizadas teria pouco êxito no momento em que sua pertinência fosse colocada em jogo para fora da escola. Um ensino de física descontextualizado e fragmentado também parece sugerir pouco sucesso.

Antes de tratar da contextualização, vamos discutir uma outra questão que a noção de competências suscita: **as referências dos saberes escolares, ou, ainda, o problema da transposição didática**. De onde vêm os saberes que ensinamos na disciplina de física? Ensinamos a física dos cientistas? Por que ensinamos esses e não outros conteúdos? É o que esse olhar para as competências pretende tratar.

A noção de Transposição Didática se tornou conhecida a partir de Yves Chevallard⁹, que a propôs especialmente para a matemática¹⁰. Trata das transformações por que passam os saberes até chegar na sala de aula. O autor identifica pelo menos três passagens: o saber sábio, ou de referência, o saber a ensinar, aquele dos programas e manuais, e o saber ensinado, que estaria presente na sala de aula. No entanto, há um ambiente de conflitos e negociações até se chegar ao saber ensinado, ao qual Chevallard chama de *noosfera*. Aquela relação entre professor, aluno/alunos e saber (agora saber no singular, porque é aquele presente nos programas) se dá em um sistema de ensino *stricto sensu*. A *noosfera* envolve esse sistema e se insere em um entorno social mais amplo, pois nesse ambiente os representantes do sistema de ensino se encontram com os representantes da sociedade (pais, técnicos de secretarias de ensino e outros).

Do saber sábio, aquele dos físicos, ao saber a ensinar, a interferência do professor é menor. No entanto, do saber a ensinar para o saber ensinado (o que seria uma transposição didática interna), a participação do professor é decisiva e o próprio Chevallard ressalta a necessidade do professor compreender esse processo de transposição didática, pois se trata de **“uma ferramenta que permite recapacitar, tomar distância, interrogar as evidências, por em questão as idéias simples, desprender-se da familiaridade enganosa de seu objeto de estudo. Em uma palavra, permite exercer sua vigilância epistemológica”** (1991, p.16).

Esse é um dos pontos fundamentais, se pretendemos reorientar os conteúdos de física ensinados na escola, bem como as práticas educacionais e estratégias de ensino. Há necessidade de **interrogar as evidências** e romper com a **familiaridade enganosa** com o que nos parece estabelecido e sem possibilidade de mudança. É enganoso achar que não se pode mudar o que se ensina, e como se ensina, de física no nível médio. Chevallard vai além, alertando-nos de que **“o saber produzido pela transposição didática será um saber exilado de sua origem e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se em saber ensinado como algo que não é de nenhum tempo e de nenhum lugar”** (1991, p.18).

⁹ CHEVALLARD, Yves. La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Argentina: Aique Grupo Editor SA, 1991.

¹⁰ A noção de transposição didática foi introduzida por M. Verret. In: VERRET, Michel. Le Temps des Études. Paris: Librairie Honoré Champion, 1975.

A física ensinada na escola não é a física do físico, embora haja alguma relação. Nós não ensinamos a mecânica, por exemplo, a partir do livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* (o *Principia*) de Newton! Nem mesmo a segunda lei de Newton é apresentada em sua forma original e a primeira lei tomou sua forma final mais de vinte anos depois das outras duas!

Os saberes ensinados constituem um novo saber, **exilados de sua origem**, o que é necessário para poderem ser ensinados em determinados níveis escolares. Vale, no entanto, o alerta de que é preciso uma *vigilância epistemológica* sobre esses saberes e que muitos conteúdos são invenções didáticas que foram inicialmente criadas para facilitar a aprendizagem, mas que acabaram se constituindo em conteúdo de ensino, cujo significado para o aluno é discutível.

Ocorre, todavia, que a noção de transposição didática discutida anteriormente tem como referência o saber sábio. Mas, seria essa a única fonte dos saberes ensinados na escola? Philippe Perrenoud¹¹ faz um importante alerta ao ressaltar que **“não é seguro que a simples transposição da física dos físicos seja o melhor meio de fazer os adolescentes que não se destinam a formações científicas pontuais adquirirem algumas noções de física”** (1998, p.23). Essa é uma das preocupações fundamentais contidas nos PCNs e PCNs+ e começa a apontar para a necessidade de se pensar, ou repensar, um ensino de física para os alunos, e não um amontoado de pré-requisitos que talvez sirvam para os que irão prosseguir em seus estudos nas áreas científicas. Talvez seja o momento de substituir a pergunta “meus alunos podem aprender física?” por “o que a física pode fazer por meus alunos?”.

Para tanto, em um ensino por competências haveria a necessidade de se ampliar a noção de transposição didática, por se tratar de um processo complexo e implicar uma mudança de forma e conteúdo e uma passagem de um domínio a outro. Para Philippe Perrenoud, a noção de competências é um problema de transposição didática, em sentido amplo, pois não seria suficiente a legitimação acadêmica do saber a ensinar; demandaria a necessidade de uma legitimação cultural e de compreensão desse processo de construção de um novo saber: o saber escolar.

Paralelamente, há uma enorme cobrança da escola, especialmente pelos alunos e seus pais, para que ela atenda a suas expectativas em um tempo posterior à escola. É comum a pergunta dos alunos: por que eu estou aprendendo isso? Um ensino de física reduzido à memorização de saberes formais e expresso em exercícios desprovidos de sentido dificilmente terá um potencial de mobilização em diferentes contextos que não seja dentro da própria disciplina.

¹¹ PERRENOUD, Philippe. La Transposition Didactique à Partir de Pratiques: de savoir aux compétences. Revue des Sciences de l'Éducation. Montreal, v.XXIV, n.3, 1998.

Esse problema está presente nas discussões sobre as Práticas Sociais de Referência, proposta por Jean-Louis Martinand¹². Embora o próprio autor esclareça que não se trata de uma teoria em oposição à transposição didática, ou mesmo um complemento a ela, ambas podem nos auxiliar a compreender as referências dos saberes escolares, especialmente na perspectiva de um ensino por competências, que nos parece difícil formalizar em saberes a ensinar.

A idéia das práticas sociais de referência discute não só a relação entre as atividades escolares e sociais, mas também a necessidade de **considerar a pertinência dos saberes, a ensinar e ensinado, em uma formação geral**. Nesse caso, também seriam referências, por exemplo, as práticas domésticas, culturais e tecno-científicas. Não seria apenas contextualizar os saberes, mas considerar as práticas em todos os seus aspectos e compreender seus componentes de saberes, implícitos ou explícitos. Consiste ainda em analisar a estrutura desses saberes e seus conceitos centrais. Tais referências poderiam se tornar saberes a ensinar. Isso aponta para uma importante questão no ensino da física: a relação entre a física e a tecnologia.

Retomando o Art. 35 da LDB/96, o qual prevê como uma das finalidades do ensino médio a *compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos*, algumas posições críticas entendem que tal postura implicaria submeter esse nível de ensino às exigências do mercado, do mundo da produção. Tal posição é pertinente, no entanto, é possível considerar também a possibilidade de assumir a tecnologia como uma das referências dos saberes escolares, até mesmo para a superação dessa condição de adaptabilidade. Não é por outra razão que a área das Ciências da Natureza e Matemática presente nos PCNs e PCNs+ englobam as tecnologias a ela associadas e assumem uma concepção diferente em relação às DCNEM.

A tecnologia aparece predominantemente nos ambientes escolares, sobretudo nos livros didáticos, sob dois aspectos: primeiro como justificativa do ensino da física, embora os conteúdos de física ensinados nada ou muito pouco têm a ver com o nosso mundo tecnológico, essa associação fica por conta do aluno. Segundo, como uma ciência aplicada, o que também seria uma justificativa da importância da ciência/física, não necessariamente do seu ensino. Gérard Fourez¹³ também detectou essa problemática e alerta que:

A ideologia dominante dos professores é que as tecnologias são aplicações das ciências. Quando as tecnologias são assim apresentadas, é como se uma vez compreendidas as ciências, as tecnologias seguissem automaticamente. E isto, apesar de que, na maior parte do tempo, a construção de uma tecnologia implica em considerações sociais, econômicas e culturais que vão muito além de uma aplicação das ciências. A compreensão desta implicação do social na construção das tecnologias torna possível um estudo crítico destas, como o fazem os trabalhos de avaliação social das tecnologias. Uma formação para a

¹² MARTINAND, Jean-Louis. La Question de la Reference en Didactique du Curriculum. Investigações em Ensino de Ciências. Instituto de Física – UFRGS, v.8, n2, 2003. MARTINAND, Jean-Louis. Connaître et Transformer la Matière: des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques. Berne: Editions Peter Lang, 1986.

¹³ FOUREZ, Gérard. Crise no Ensino de Ciências? Investigações em Ensino de Ciências. Instituto de Física – UFRGS, v.8, n.2, 2003.

negociação com as tecnologias deve tornar os alunos capazes de analisar os efeitos organizacionais de uma tecnologia. (2003, p.10)

Essa posição aponta para uma direção oposta à crítica inicialmente apresentada à inclusão das tecnologias como conteúdos de ensino. O que se pretende é justamente possibilitar seu estudo crítico.

A superação desses dois aspectos da tecnologia em relação à ciência implica rever o *status* epistemológico atribuído à tecnologia. Sobre isso, Michel Caillot¹⁴, ao comparar o tratamento dado à tecnologia pela física e pela química nos programas escolares, disciplinas sempre vistas como próximas, levanta a hipótese de que tais ciências ocupam posições diferentes no âmbito dos saberes e das práticas sociais. A física se mostra mais resistente em abandonar o saber sábio como única referência. A química, talvez por sua natureza de ciência da transformação, congrega as atividades científicas e tecnológicas.

Duas razões são apontadas. A primeira de ordem epistemológica, que consiste em diferentes relações com os saberes tecnológicos. A física parece tratar a tecnologia como uma aplicação e não uma formalização de saberes. Outra de ordem econômico-social, já que a química tem uma indústria química correspondente e a pesquisa científica e tecnológica se aproximam. A física não tem essa correspondência na indústria. Isso mostra que a incorporação da noção de competências e habilidades pode assumir diferentes interpretações para cada uma das disciplinas. Na química e na biologia, por exemplo, entender habilidade como algo ligado às técnicas e procedimentos faz muito mais sentido do que na física, pois a visão do papel da experimentação nessas três áreas também é diferenciada.

Essas posições diferentes entre a física e a tecnologia acabam dificultando a introdução desta como objeto de ensino. O que dificulta inclusive a modernização dos programas de física, pois essa distinção entre ciência e tecnologia no mundo atual ficou menos nítida. Todavia, a tecnologia tem um grande potencial para servir de referência aos saberes a ensinar associados aos assuntos da física.

Mas, como identificar e formalizar essas competências que não tenham como referência única o saber sábio e que congreguem um potencial mobilizador para novos contextos? Parte desse trabalho já foi feito. Os PCNs e, em especial, os PCNs+ nos oferecem um bom ponto de partida, conforme será tratado no item seguinte.

Antes disso, dois outros temas centrais nas Diretrizes Curriculares parecem não estar claros nesse documento, o que tem causado dificuldades aos professores: a interdisciplinaridade e a contextualização.

¹⁴ CAILLOT, Michel. La Théorie de la Transposition Didactique est-elle Transposable? In: RAISKY, Claude; CAILLOT, Michel. Au-delà des Didactiques, le Didactique: débats autour de concepts fédérateurs. Bruxelles: De Boeck & Larcier, 1996.

A interdisciplinaridade aparece nas Diretrizes Curriculares em contraposição à compartimentalização do ensino e a divisão do conhecimento nas três áreas (linguagens, códigos e suas tecnologias; ciências da natureza, matemática e suas tecnologias; ciências humanas e suas tecnologias) seria para facilitar o trabalho interdisciplinar, já que o documento entende que tais áreas possuem objetos de ensino comuns. As DCNEM ressaltam ainda que *“na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para resolver um problema concreto ou compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista. Em suma, a interdisciplinaridade tem uma função instrumental. Trata-se de recorrer a um saber diretamente útil e utilizável para responder às questões e aos problemas sociais contemporâneos”* (Brasil, 1999, p.34).

Essa dimensão instrumental da interdisciplinaridade seria para possibilitar uma análise não segmentada da sociedade, conforme as Diretrizes Curriculares, e compreendê-la em uma *“abordagem relacional, em que se propõe que, por meio da prática escolar, sejam estabelecidas interconexões e passagens entre os conhecimentos através de relações de complementaridade, convergência e divergência”* (Brasil, 1999, p.36). Nessa perspectiva, a interdisciplinaridade estaria mais relacionada com uma transversalidade e uma multidisciplinaridade, com aspectos pedagógicos, do que com um caráter epistemológico.

Mais adiante, as DCNEM alertam que a interdisciplinaridade não se resume à mera justaposição de disciplinas e, ao ressaltarem a interdisciplinaridade como um diálogo entre as disciplinas, destacam que isso se daria desde a *“simples comunicação de idéias até a integração mútua de conceitos diretores, da epistemologia, da terminologia, da metodologia e dos procedimentos de coleta e análise de dados”* (Brasil, 1999, p.88). Isso aponta bem mais para uma prática transdisciplinar do que para a interdisciplinaridade e a transposição de epistemologias de diferentes áreas é algo de complexa realização. A noção de interdisciplinaridade presente nas Diretrizes Curriculares é, portanto, bastante ampla, pois abrange aspectos cognitivos, didático-pedagógicos e relacional, com tentativas de adentrar ao campo epistemológico.

Desde o início, a contextualização está associada à busca de significado para o conhecimento escolar. Para as Diretrizes Curriculares há uma distância a ser superada entre os conteúdos disciplinares e a experiência dos alunos. Desse modo, *“a aprendizagem significativa pressupõe a existência de um referencial que permita aos alunos identificar e se identificar com as questões propostas”* (Brasil, 1999, p.36). Essa preocupação, associada a uma problematização dos saberes a ensinar, aproxima-se da concepção dos PCNs e PCNs+ a respeito da contextualização, conforme será tratado mais adiante.

As DCNEM entendem ainda que a contextualização poderia ampliar a interação entre as disciplinas e também entre as áreas; e que contextualizar significa admitir uma relação entre sujeito e objeto em todo o processo de conhecimento, salientando-se que o conhecimento escolar passou por uma

transposição didática. Essa preocupação com aspectos epistemológicos reaparece quando as Diretrizes Curriculares se referem ao tratamento contextualizado do conteúdo e salientam que *“se bem trabalhado permite que, ao longo da transposição didática, o conteúdo do ensino provoque aprendizagens significativas que mobilizem o aluno e estabeleçam entre ele e o objeto do conhecimento uma relação de reciprocidade”* (Brasil, 1999, p.91).

Essas posições sugerem uma confusão entre contextualização e interdisciplinaridade, especialmente ao entender que aquela poderia ampliar a interação entre as áreas, o que seria desnecessário se se entendesse a interdisciplinaridade em sua dimensão epistemológica.

Há ainda outro problema ao associar a contextualização e a transposição didática. Foi visto anteriormente que os saberes a ensinar estão exilados de sua origem, ou seja, descontextualizados. Mas esta descontextualização é tratada no campo epistemológico e o pretendido nas DCNEM estaria mais próximo do campo didático-pedagógico, embora haja relação entre ambos. A descontextualização que resulta do processo de transposição didática é inevitável, pois os tempos e os objetivos destinados ao ensino e à prática científica são distintos.

O contexto do trabalho é considerado o mais importante pelas DCNEM, chegando ao exagero de afirmar que as tecnologias, tanto as associadas às linguagens como as relacionadas às ciências, *“só podem ser aprendidas de forma significativa se contextualizadas no trabalho”* (Brasil, 1999, p.93). E, assumem ainda que a estreita relação entre a contextualização e o trabalho tem lugar na literatura que trata dos programas de formação profissional. Com isso, fica difícil para as Diretrizes Curriculares escaparem às críticas de submissão ao mundo do trabalho.

II. Os Parâmetros Curriculares – PCNs e PCNs+

Foi dito anteriormente que as DCNEM incorporam um discurso teórico para expressar os pressupostos fundamentais da LDB/96 e que, ao servirem para todo o ensino médio, apresentam-se com posições bastante amplas, o que possibilita várias interpretações. Cada disciplina fez esse exercício nos PCNs.

Uma dessas interpretações dos fundamentos das Diretrizes Curriculares está nos PCNs e nos PCNs+ para a área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, que, embora não rompam com as linhas gerais das DCNEM, assumem um discurso muito mais amparado nas práticas e reflexões das experiências profissionais de seus elaboradores, que de um compartilhamento teórico. Não é de se estranhar que haja certas semelhanças com as orientações para a física e o material didático proposto pelo GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). Haveria ainda uma aproximação com as concepções educacionais de Paulo Freire. Nos PCNs+ observa-se também que o princípio estruturador é a contextualização, a partir da qual surge a interdisciplinaridade, e praticamente desaparece o termo habilidade.

Assim, muitas críticas feitas às DCNEM, ao serem transpostas aos PCNs e PCNs+, para a área em que se insere a física, deveriam ser feitas com cautela.

O texto dos PCNs destaca que a interdisciplinaridade ali proposta não se opõe à disciplinaridade do conhecimento, salientando que o conhecimento científico disciplinar é parte essencial da nossa cultura. O que se sugere nesse documento é o desenvolvimento de *“conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondem a uma cultura geral e a uma visão de mundo”* (Brasil, 1999, p.207). Ressaltam ainda que um dos pontos de partida seria o mundo vivencial dos alunos, da escola e da comunidade, pois o que se pretende é o desenvolvimento de competências e habilidades com vistas às intervenções e julgamentos práticos. Vale destacar que para os Parâmetros *“vivencial tem mais a ver com a familiaridade dos alunos com os fatos do que com esses fatos serem parte da vizinhança física e social”* (Idem).

De imediato se verifica que os PCNs reconhecem a disciplinarização do conhecimento e apresentam a interdisciplinaridade como um convite ao desenvolvimento de qualificações humanas amplas, para que a escola atenda às expectativas dos alunos. Esses conhecimentos mais amplos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo, nada mais são que as competências gerais esperadas para a área. Cabe salientar ainda que os PCNs não reduzem a contextualização ao cotidiano físico do aluno, mas sugerem como ponto de partida a sua realidade vivida, com vistas a intervenções e julgamentos. Colocar a interdisciplinaridade como oposição às disciplinas e reduzir a contextualização ao cotidiano são equívocos comuns.

Os PCNs apresentam quadros de competências, tanto para a área como para a física, articuladas entre as três grandes competências *de representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sócio-cultural*, com o objetivo de superar as práticas tradicionais, que tratam a física de maneira desarticulada do mundo vivido pelo aluno e professor, enfatizando predominantemente a memorização e a automatização de resolução de exercícios. Ao contrário, busca-se uma física que contribua para a constituição de uma cultura científica nos alunos, para que compreendam a dinâmica relação do homem com seu meio.

As competências e habilidades sugeridas para a disciplina da física estão inseridas dentro da disciplina, embora apareçam algumas competências e/ou habilidades que prevêm relação com outras áreas. Uma das competências propostas ilustra bem a aproximação do documento com o material do GREF: *“compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos. Descobrir o “como funciona” de aparelhos”* (Brasil, 1999, p.237). Também a tecnologia está muito presente no rol de competências, especialmente nas que se referem à contextualização sócio-cultural. Uma delas exemplifica bem a ampliação dos objetivos educacionais para além dos conteúdos disciplinares: *“ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou*

tecnológicos relevantes” (Idem). Somente os conteúdos de física por si mesmos não habilitam o aluno a essa competência.

Os PCNs+ constituem considerável avanço na proposição de subsídios aos professores para a implementação da reforma no nível médio e se apresentam com o objetivo geral de *“facilitar a organização do trabalho da escola, em termos dessa área de conhecimento. Para isso, explicita a articulação das competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares e apresenta um conjunto de sugestões de práticas educativas e de organização dos currículos que, coerentemente com tal articulação, estabelece temas estruturadores do ensino disciplinar na área”* (Brasil, 2002, p.7). Destacam ainda que as práticas escolares correntes privilegiam um ensino excessivamente disciplinar e descontextualizado, resultando em um desinteresse dos alunos e seu pouco envolvimento com a escola. Ao enfatizarem a necessidade de ampliação dos objetivos educacionais, os PCNs+ afirmam que a escola deveria: *“promover todos os seus alunos, e não selecionar alguns; emancipá-los para a participação, e não domesticá-los para a obediência; valorizá-los em suas diferenças individuais, e não nivelá-los por baixo ou pela média”* (Idem, p.12).

É oferecida uma possibilidade pelos PCNs+ para o problema levantado anteriormente: o de formalizar as competências em saberes a ensinar, para além dos conteúdos disciplinares. A alternativa encontrada pelo documento é a articulação entre competências e conhecimentos e a proposição de temas estruturadores. Essa possibilidade de organizar o trabalho escolar reconhecendo a importância das disciplinas, redirecionando as práticas educativas, e objetivando as competências *“é a idéia que preside a concepção de temas estruturadores do processo de ensino, para se poder apresentar, com contexto, os conhecimentos disciplinares já associados a habilidades e competências específicas ou gerais”* (Brasil, 2002, p.16). Há que se reconhecer o potencial dessa alternativa didático-metodológica. Assumem ainda o papel da escola como promotora da emancipação e da participação, em oposição a uma escola domesticadora, o que nos remete a Paulo Freire.

Em um primeiro momento os PCNs+ destacam a importância do trabalho coletivo dos professores e de articular o trabalho das disciplinas. Isso é caracterizado como uma ação de cunho interdisciplinar. No entanto, mais adiante o documento ressalta que *“assim como a interdisciplinaridade surge do contexto e depende das disciplinas, a competência não rivaliza com o conhecimento; ao contrário, se funda sobre ele e se desenvolve com ele”* (Brasil, 2002, p.14). Na seqüência, reafirma que *“a forma mais direta e natural de se convocarem temáticas interdisciplinares é simplesmente examinar o objeto de estudo disciplinar em seu contexto real, não fora dele”* (Idem). Acrescenta ainda que é necessário desfazer falsas semelhanças entre as disciplinas e que a busca de tal aproximações deveria apoiar-se mais em objetivos pedagógicos que epistemológicos.

Parece haver uma confusão entre interdisciplinaridade e multidisciplinaridade, já que o trabalho coletivo estaria mais próximo desta última. Mas, posteriormente fica mais clara a posição dos PCNs+ em relação à

interdisciplinaridade. Ela surge da contextualização e deve ser buscada no plano pedagógico, o que faz sentido se considerarmos que estamos tratando de saberes escolares, resultado de uma transposição didática. Isso será fundamental para elaborarmos, na seqüência, uma compreensão para a interdisciplinaridade e a contextualização.

Em suas orientações, os PCNs+ procuram dar um novo sentido para o ensino da física: *“trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade”* (Brasil, 2002, p.59). Retomam a importância da contextualização ao afirmarem que *“as competências em física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos”* (Idem). Ao mesmo tempo, reconhecem que *“os professores têm se sentido perdidos, sem os instrumentos necessários para as novas tarefas, sem orientações mais concretas em relação ao que fazer”* (Idem, p.60). De outra parte, há um reconhecimento pelo documento de que não existe uma receita pronta para a transposição dessas proposições em *práticas escolares concretas*.

A constituição de um cidadão contemporâneo, capaz de compreender seu mundo, dificilmente ocorrerá por meio de conteúdos envelhecidos didaticamente, cujo ensino persiste muito mais “consagrado pelo uso” do que por sua pertinência na formação geral do aluno. Ou seja, há necessidade de rever os conteúdos a ensinar, mas não só, uma vez que também as práticas escolares teriam que passar por constantes avaliações, reflexões e que resultassem em novas ações. Um ponto interessante do parágrafo acima é que os PCNs+ fazem referência a uma física para a vida e reforçam mais uma vez a relevância da contextualização para se atingir os objetivos almejados.

A física seria, portanto, um meio e não um fim, e passa a ser vista como um instrumento para a compreensão do mundo. Todavia, não se pode reduzir, segundo os PCNs+, os conhecimentos a serem aprendidos na física a uma dimensão pragmática, mas de entendê-los *“dentro de uma concepção humanista abrangente, tão abrangente quanto o perfil do cidadão que se quer ajudar a construir”* (Brasil, 2002, p.61).

Ao propor uma abordagem temática, os PCNs+ ressaltam que os objetivos educacionais do trabalho pedagógico orientado por competências terão que ser bem claros, a fim de não reduzir os temas ao tratamento dos conteúdos disciplinares específicos. Para tanto, as escolhas de conteúdos deverão ser criteriosas, para poderem atingir os objetivos amplos desejados. A principal intenção da estratégia didática apoiada em temas estruturadores se sustenta na crença de que *“os temas de trabalho, na medida em que articulam conhecimentos e competências, transformam-se em elementos estruturadores da ação pedagógica, ou seja, em temas estruturadores”* (Brasil, 2002, p.69). E, com vistas a associar competências e conhecimentos e oferecer subsídios para a organização dos conteúdos a ensinar, os PCNs+ sugerem para a física os seguintes temas:

Tema 1: Movimento, variações e conservações (unidades temáticas: fenomenologia cotidiana, variação e conservação da quantidade de movimento, energia e potência associadas aos movimentos, equilíbrios e desequilíbrios);

Tema 2 Calor, ambiente e usos de energia (unidades temáticas: fontes e trocas de calor, tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores, o calor na vida e no ambiente, energia: produção para uso social);

Tema 3 Som, imagem e informação (unidades temáticas: fontes sonoras, formação e detecção de imagens, gravação e reprodução de sons e imagens, transmissão de sons e imagens);

Tema 4: Equipamentos elétricos e telecomunicações (unidades temáticas: aparelhos elétricos, motores elétricos, geradores, emissores e receptores);

Tema 5: Matéria e radiação (unidades temáticas: matéria e suas propriedades, radiações e suas interações, energia nuclear e radioatividade, eletrônica e informática);

Tema 6: Universo, Terra e Vida (unidades temáticas: Terra e sistema solar, o Universo e sua origem, compreensão humana do Universo).

Cada tema é subdividido em unidades temáticas. Em cada unidade há ainda alguns objetivos gerais. E, antes que se possa pensar que haveria uma despreocupação com os cálculos no ensino da física, os PCNs+ destacam que *“a formalização matemática continua sendo essencial, desde que desenvolvida como síntese de conceitos e relações, compreendidos anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa”* (Brasil, 2002, p.85).

Podemos admitir que a principal compreensão dada à noção de competências pelos PCNs e PCNs+ é a ampliação dos objetivos educacionais para além da aquisição de conteúdos e informações, o que é necessário, mas não suficiente para um novo olhar e uma melhor compreensão do mundo de nosso tempo. A pretensão é que as competências sejam qualificações amplas oferecidas pela escola, de modo que os saberes disciplinares estejam a serviço da cultura e da visão de mundo. Isso dá um novo sentido ao aprendizado da física e implica uma concepção de educação, pois nos remete à questão já colocada anteriormente: o que a física pode fazer pelos alunos?

Embora os PCNs e os PCNs+ não tenham a preocupação em estabelecer diferenças entre competências e habilidades, é possível fazer algumas inferências nessa direção. As competências estariam mais relacionadas ao sujeito inserido na sociedade, principalmente depois da escola, enquanto que as habilidades estariam mais ao alcance do tempo escolar. Buscar informações, analisá-las e sistematizá-las, seriam habilidades; no momento em que tais habilidades contribuíssem para uma tomada de decisão, de atitude, em relação a uma determinada situação, tornar-se-iam uma competência. Nesse sentido, o que proporcionaria a interdisciplinaridade, por exemplo, seriam as competências e não os conteúdos. **As competências poderiam servir ao professor como um instrumento de análise de suas práticas e orienta-lo para os objetivos educacionais almejados.**

III. Caminhos e Possibilidades

A escola não está indiferente à necessidade de mudanças em sua estrutura e em suas práticas de ensino, que tem sua origem bem mais em

problemas detectados no seu dia a dia do que na legislação. Poderíamos dizer até que mesmo antes da LDB/96 o sistema de ensino já sinalizava para real demanda em modernizar-se e acompanhar, de certa forma, o cenário nacional e mundial, o que não significa uma mera adaptação. Em meio a essas expectativas, surgem a LDB/96, as Diretrizes Curriculares e os Parâmetros Curriculares. Ocorre, no entanto, que ainda há uma grande distância a ser superada entre as reorientações propostas nesses documentos e a sala de aula.

Dentre as dificuldades encontradas pelas escolas e professores, destacam-se¹⁵: (a) estrutura do sistema de ensino e das escolas verticalizada, ou seja, os professores não se reconhecem como sujeitos fundamentais no processo de reforma do nível médio; (b) a chegada dos Parâmetros Curriculares nas escolas se deu de forma abrupta e não foram discutidos com os professores em profundidade suficiente, nem para refletir sobre sua pertinência enquanto proposta (em alguns casos a chegada foi feita de maneira impositiva); (c) falta de continuidade de políticas educacionais para além da simples distribuição dos PCNs; (d) dificuldades dos professores em encontrar materiais didáticos alternativos compatíveis com os pressupostos gerais dos PCNs (ainda é pouco comum no ensino da física o uso sistemático de livros chamados pára-didáticos na sala de aula); (e) pouca compatibilidade entre a formação inicial e as propostas educacionais presentes nos documentos do MEC, persistindo ainda um reprodutivismo de modelos vivenciados na graduação, ou pior, dos modelos incorporados pelo professor enquanto estudante; (f) falta de políticas de formação continuada para os professores, para além de cursos de curta duração, freqüentemente chamados de “reciclagem”; (g) pouca compreensão dos temas centrais das Diretrizes Curriculares e dos PCNs, como a noção de competências, de interdisciplinaridade e de contextualização; (h) problemas na formação inicial, incluindo-se deficiências de conteúdos específicos (isso se associa ao fato de haver falta de professores licenciados em física para trabalhar no nível médio). Essas dificuldades se somariam ainda às reivindicações da classe dos professores ligadas a questões salariais e de melhores condições de trabalho, o que não é objeto de discussão desse texto.

Ao mesmo tempo em que a escola reconhece a necessidade de mudanças, não que necessariamente as deseje, os PCNs são tratados, por alguns, como utópicos. Todavia, podemos pensar que mais utópico seria achar que vencendo todo o programa de física cobrado nos vestibulares, nossos alunos de fato o tenham aprendido e que saberão articular todas aquelas informações para compreender e atuar em sua realidade. Além do mais, em tempos de aparente impossibilidade de mudanças, há que se assumir a necessidade da realidade e entender a utopia como aporte para a construção de caminhos alternativos. Pouco ou nada adianta evocar um futuro utópico ou um passado utópico, no qual se inserem aqueles que ainda pensam que a escola do seu tempo é que funcionava. As mudanças se darão na e pela ação,

¹⁵ RICARDO, E. C.; ZYLBERZSTAJN, A.. O Ensino das Ciências no Nível Médio: um estudo sobre as dificuldades de implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3, p.351-370, dez/2002. RICARDO, E. C.. As Ciências do Ensino Médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais: da proposta à prática. Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação. Rio de Janeiro, v.10, n.35, p.141-160, 2002.

desde que acompanhadas de avaliações e questionamentos a partir de bases teóricas, a fim de se evitar agir apenas na aparência.

Dos obstáculos acima enumerados, a dificuldade de compreensão da noção de interdisciplinaridade e de contextualização será aqui discutida. É comum a interdisciplinaridade ser entendida como um trabalho coletivo entre os professores da área ou da escola, ou que se oponha às disciplinas. A contextualização freqüentemente é reduzida ao cotidiano dos alunos; ao seu entorno físico próximo. O entendimento desses temas não encontra consenso nem mesmo na literatura acadêmica. Assim, os conceitos que serão apresentados em nenhuma hipótese são fechados; ao contrário, servem de ponto de partida para a discussão e o aprofundamento, como foi a concepção de competências apresentada anteriormente. Para facilitar isso, procuramos manter algumas concepções presentes principalmente nos PCNs+.

Quanto à interdisciplinaridade como oposição às disciplinas, vale destacar que cada disciplina científica vê o mundo segundo uma perspectiva particular, é um recorte desse mundo e, em razão dos objetos de estudo que se propõem, conduzem a saberes padronizados, permitindo sua organização em corpos de saberes que podem ser comunicados. Para Gérard Fourez¹⁶, as disciplinas científicas são maneiras historicamente organizadas de produzir representações do mundo e colocá-las a prova. Essa padronização facilita inclusive sua aprendizagem e a discussão de suas proposições. Dialeticamente, o ensino dos saberes científicos privilegia sua padronização, segundo Fourez. Quem legitima essa padronização, e sob quais critérios, nos indicaria certas concepções de ciência. Thomas Kuhn¹⁷, por exemplo, atribui essa tarefa à comunidade científica. Jantsch e Bianchetti¹⁸ assumem que “*é impensável a interdisciplinaridade sem a base que a possibilita, ou seja, as disciplinas*” (p.21). Isso coloca em xeque também a noção de interdisciplinaridade como uma unificação dos saberes. Admitir isso é negar aspectos históricos e epistemológicos da construção do conhecimento e ignorar a estrutura dos conhecimentos disciplinares. Conforme Etges¹⁹:

A interdisciplinaridade, enquanto princípio mediador de comunicação entre as diferentes disciplinas, não poderá jamais ser elemento de redução a denominador comum, mas elemento teórico metodológico da diferença e da criatividade. A interdisciplinaridade é o princípio da máxima exploração das potencialidades de cada ciência, da compreensão e exploração de seus limites, mas, acima de tudo, é o princípio da diversidade e da criatividade. (p.79)

Essa dimensão da interdisciplinaridade está no campo epistemológico, o qual acreditamos ser o mais conveniente para discuti-la. Outras interpretações dadas à interdisciplinaridade são a de um trabalho coletivo entre sujeitos e a

¹⁶ FOUREZ, Gérard. Des Représentations aux Disciplines et à l'Interdisciplinarité. La Revue Nouvelle, v.11, n.2, p.88-98, Février 2000.

¹⁷ KUHN, Thomas S.. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo: Editora Perspectiva, 1991.

¹⁸ JANTSCH, Ari P.; BIANCHETTI, Lucídio. Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito. Petrópolis – RJ: Vozes, 1995.

¹⁹ ETGES, Norberto J.. Produção do Conhecimento. Educação e Realidade. Porto Alegre, 18 (2), p.73-82, jul/dez. 1993.

perspectiva relacional, muito mais próximas de aspectos metodológicos e pedagógicos.

O trabalho coletivo, de parcerias com mais de uma área, poderia ser entendido como uma multidisciplinaridade ou uma pluridisciplinaridade. A multidisciplinaridade consiste em reunir informações em várias disciplinas diante de uma determinada situação, justapondo áreas diferentes simultaneamente, com vistas a esclarecimentos de alguns pontos comuns, sem aprofundamento de suas relações. Embora haja um ponto comum, não se compartilha o mesmo projeto. A pluridisciplinaridade também é uma cooperação, ou justaposição de disciplinas, na qual há troca e acúmulo de informações, sem profundas modificações teórico-metodológicas²⁰. Haveria, no entanto, um compartilhamento de projetos²¹. Em ambas poderia haver o convívio amigável entre as distintas visões. A transposição de conceitos e metodologias de uma disciplina a outra poderia se chamar de prática transdisciplinar.

Nos PCNs e, principalmente, nos PCNs+ a contextualização assume a condição de tema central. A partir dela que se compreende a interdisciplinaridade e se desenvolvem as competências. E, antes de tudo, é necessário recordar que há uma influência de Paulo Freire na constituição dos PCNs+. Em sua proposta pedagógica, Freire²² procura estabelecer uma relação dialética com o mundo, ressaltando os aspectos teóricos e a discussão das contradições presentes na realidade, ou seja, trata-se de uma *“praxis que, sendo reflexão e ação verdadeiramente transformadora da realidade, é fonte de conhecimento reflexivo e criação”* (p.108). Isso transcende a mera utilização pragmática do conhecimento, pois implica reflexão, transformação e ação da realidade e do sujeito. Para o autor, a codificação e a descodificação permitem compreender o lugar do sujeito na construção do conhecimento, para o qual o objeto é a situação existencial concreta na qual o sujeito está inserido.

A codificação é a representação do objeto e a descodificação é a análise crítica da situação codificada. O que se pretende é a compreensão dessa realidade histórica e socialmente situada e em tempo real para investigar a atuação do sujeito, que se reconhecerá nessa representação da situação existencial codificada. No entanto, para Freire, a ação não é suficiente, pois sem a reflexão corre-se o risco de agir sobre as aparências. A relação dialética entre a consciência histórica e a realidade do sujeito se aplica também na articulação entre o concreto e o abstrato. O concreto da apreensão da visão de mundo do sujeito e a abstração de saberes universalizantes poderão ser mobilizados em novos contextos, possibilitando a intervenção na realidade. Nessa perspectiva, Freire defende que os saberes a ensinar deveriam ser extraídos da investigação temática, a partir de situações significativas do

²⁰ SANTOMÉ, Jurjo Torres. Globalização e Interdisciplinaridade: o currículo integrado. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.

²¹ FOUREZ, Gérard et al.. Saber Sobre Nuestros Saberes: un léxico epistemológico para la enseñanza. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.

²² FREIRE, Paulo. Pedagogia do Oprimido. 14ª ed. Rio de Janeiro – RJ: Paz e Terra, 1985.

cotidiano desse sujeito coletivo²³. Pronunciar e problematizar o mundo é torná-lo significativo, pois nasce da relação do sujeito com o real e com os outros e retorna ao sujeito a partir da exploração dos limites de sua consciência histórica anterior. Esse retorno, no entanto, não é imposto.

Essa problematização da realidade vivida não é disciplinar. A codificação e a descodificação dessa realidade não se inserem em uma única disciplina. Trata-se de uma primeira competência crítico-analítica de extrair uma representação dessa realidade para a discussão. Adentra-se então no campo epistemológico da interdisciplinaridade. Essa competência teve origem na contextualização e na problematização e não na mera justaposição/união de várias disciplinas; possibilita a construção de um novo saber sobre essa realidade, para se tomar uma decisão ou assumir uma posição.

Pega-se, por exemplo, a competência prevista nos PCNs+ dentro do Tema 4, unidade temática Emissores e Receptores: *“compreender o funcionamento de circuitos oscilantes e o papel das antenas para explicar a modulação, emissão e recepção de ondas portadoras como no radar, rádio, televisão ou telefonia celular”* (p.77). É perfeitamente possível tratar todos esses assuntos com conhecimentos da física, pode-se começar explicando o que seria um resistor, um capacitor, uma bobina, uma onda eletromagnética e assim por diante.

Seria possível, no entanto, contextualizar todos esses conceitos dentro da própria física. Ou seja, em vez de ensinar separadamente cada um dos componentes do circuito e os conceitos físicos envolvidos, poder-se-ia partir de um circuito, um rádio por exemplo, e tentar explicá-lo. O ponto de partida é o objeto, agora mais complexo, e não os conceitos e componentes. Seria necessário abordar a função de cada componente do circuito. Nós teríamos diodos, que permitem a passagem da corrente em apenas um sentido e são feitos de material semicondutores que passam por um processo de dopagem. Teríamos o LED (Diodo Foto Emissor), o capacitor, que serve como filtros para permitir a passagem de sinais de frequência elevada e impedir sinais de frequência baixa, mas também serve para se construir temporizadores²⁴. Para se entender um circuito oscilante seria preciso discutir a Lei de Faraday, a Lei de Lenz, a relação entre a capacidade de acúmulo de carga dos capacitores e suas dimensões geométricas e assim por diante.

Nesse caso, a física sozinha já começa a não ser suficiente. Haveria a necessidade de conhecimentos da eletrônica para tratar desses assuntos. Poderíamos até partir para a física moderna se quiséssemos explicar os semicondutores e a junção p-n do diodo. Seria uma aproximação entre a ciência e a tecnologia. Mas ainda se poderia dizer que estaria contextualizado dentro da ciência.

²³ RICARDO, E. C.. A Problematização e a Contextualização no Ensino das Ciências: acerca das idéias de Paulo Freire e Gérard Fourez. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Atas eletrônicas. Bauru, São Paulo, de 25 a 29 de novembro de 2003.

²⁴ Sugestão sobre esse assunto: HOLLMANN, Germano et al.. Introdução à Eletrônica: conceitos e aplicações. Lajeado: UNIVATES, 2001.

No entanto, se pegássemos a competência seguinte à citada acima: *“avaliar o impacto dos usos da eletricidade sobre a vida econômica e social”*. Decididamente a disciplina de física sozinha não consegue explicar esse novo “objeto”. Mas, pensemos ainda que isso se transformasse em um pequeno projeto, no qual explicaríamos o funcionamento de um rádio ou de uma televisão e sua relação com aspectos sócio-econômicos, com uma discussão histórica de sua evolução, a partir de duas perspectivas: capitalista e marxista. Não seria mais suficiente a justaposição de mais de uma disciplina e haveria posições conflitantes, sendo necessário, eventualmente, escolher uma delas para aprofundamento. Isso exigiria tomada de decisões, fazer escolhas e priorizar algumas coisas em detrimento de outras. O resultado desse processo todo seria interdisciplinar. A complexidade do objeto potencializa a interdisciplinaridade.

A física ensinada na escola média é uma de outras possíveis. Dito de outro modo: como resultado de uma transposição didática, houve escolhas do que ensinar e não ensinar. Eventualmente, essas escolhas poderiam ser revistas. Gasta-se muito tempo com o que sobrou de uma transposição do ensino superior, cujo significado para uma formação geral é discutível. Insiste-se em aulas e mais aulas na cinemática, na eletrostática, na óptica geométrica, na termologia e outros. Não que tais conteúdos não deveriam ser ensinados, mas eles podem aparecer dentro de assuntos bem mais interessantes e modernos que são relegados ao final dos livros e, por falta de tempo, não são trabalhados.

A título de exemplo, a Lei de Ohm, formulada em 1826, por analogia à lei de condução do calor de Fourier, tinha a forma $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$, válida para uma gama de materiais isotrópicos líquidos e sólidos²⁵. Ohm introduziu ainda o conceito de intensidade de corrente elétrica e de resistência elétrica²⁶. Com algumas considerações e outros conceitos se chega à expressão $V = Ri$, forma escrita pela primeira vez por G. R. Kirchhoff, em 1849. Essa riqueza da construção do conhecimento físico nesse exemplo simples nos mostra que o “espírito da ciência” não aparece no ensino médio. Ao contrário, apresentamos aos nossos alunos somente os “ossos secos”. Insistimos com nossos alunos na cinemática e nos vetores, mas não lhes explicamos porque as leis físicas têm esse caráter vetorial; não mencionamos a natureza tensorial das grandezas físicas e sua relação com a propriedade isotrópica do espaço²⁷. Sequer podemos afirmar se é possível tratar disso no nível médio, pois não o fazemos.

Esses pequenos exemplos servem para mostrar que há uma física para além dos livros didáticos. Seria difícil começar a trabalhar os princípios da termodinâmica, do rendimento, potência e perdas térmicas a partir de um motor de carro? Seria difícil começar a ensinar eletromagnetismo a partir de um rádio de galena? Não seria possível discutir no nível médio o nascimento da física quântica e sua relação com o crescimento da indústria siderúrgica na Alemanha na segunda metade do Século XIX? Já há materiais didáticos que

²⁵ NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de Física Básica. Eletromagnetismo vol.3. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003.

²⁶ ROCHA, José F. M. (org.). Origens e Evolução das Idéias da Física. Salvador: EDUFBA, 2002.

²⁷ CHAVES, Alaor S.. Física: mecânica. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.

oferecem abordagens de conteúdos e estratégias alternativas para se ensinar física²⁸, além dos livros pára-didáticos.

Todavia, além de rever os conteúdos de física, os PCNs e os PCNs+ reforçam a necessidade de se repensar as práticas educacionais de sala de aula. Por isso, sugerem algumas estratégias para a ação, a saber: o mundo vivencial, concepções de mundo dos alunos, a experimentação, resolução de problemas, a física como cultura e a responsabilidade social. Poderíamos apontar sucintamente mais algumas:

- O enfoque CTS (ciência, tecnologia e sociedade) e Aprendizagem Centrada em Eventos²⁹: possibilita a discussão da relação entre os pólos que a sigla designa e a relevância de aspectos técnico-científicos em acontecimentos sociais significativos. Envolve ainda reflexões no campo econômico e sua articulação com o desenvolvimento tecnológico e científico. A aprendizagem centrada em eventos se utiliza de fatos de ampla veiculação na mídia e de importância sócio-econômica para explorá-los a partir da ciência e da tecnologia. Um possível exemplo seria o lamentável acidente na Base de Alcântara, no Maranhão. Seria um evento potencialmente rico para se discutir a importância do programa espacial para o país, das perdas ocorridas, da privilegiada localização geográfica para essa atividade e, em relação a conteúdos, poderiam ser explorados assuntos de gravitação.
- Alfabetização Científica e Tecnológica - ACT: na perspectiva de Gérard Fourez³⁰, a ACT visa a proporcionar ao aluno certa autonomia para negociar sobre assuntos da ciência e da tecnologia e ter um certo manejo do ambiente para saber fazer e poder fazer. Sugere como metodologia possível a elaboração de “Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade”, as quais consistem em representações de determinadas situações precisamente localizadas, com a utilização dos saberes de diversas disciplinas.
- História e filosofia da ciência: o uso da história da ciência para enriquecê-la e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana. Os exemplos anteriores servem para ilustrar sua importância no ensino, não como mera seqüência de fatos cronológicos, mas como processo e produto de períodos históricos e facilitadora da aprendizagem³¹. A filosofia da ciência teria maior importância ao professor, para que construísse sua concepção de ciência, com reflexos na hora de abordá-la em sala de aula.

²⁸ Por exemplo: o material do GREF (livro do aluno e do professor) e o PEC – Projeto Escola e Cidadania. São Paulo: Editora do Brasil, 2000. Esse último considera as propostas dos PCNs.

²⁹ Ver: SOUZA CRUZ, Sonia M.; ZYLBERSZTAJN, Arden. O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. In: PIETROCOLA, Maurício. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

³⁰ FOUREZ, Gérard. Alfabetización Científica y Tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1994.

³¹ PEDUZZI, Luiz O. Q.. Sobre a Utilização Didática da História da Ciência. In: idem ao 29.

- Conceitos Unificadores³²: sugere a elaboração de programas a partir de conceitos supradisciplinares. Como exemplo, os *processos de transformações, ciclos e regularidades, energia e escalas* são citados. Há ainda, a contribuição dos momentos pedagógicos de *problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento*. Os autores dessa sugestão de trabalho propõem ainda como exemplo de construção de um programa o tema Produção, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica.

Com as reflexões aqui apresentadas esperamos que o convite para repensar os rumos do nível médio de ensino, em especial o de física, seja aceito por todos os professores. Acreditamos que essas discussões não deveriam buscar algum tipo de receita pronta. Na educação isso não existe. Ao contrário, se pretendemos uma autonomia intelectual, esta se dará no momento em que negarmos, recusarmos, qualquer modelo fechado e imposto.

O desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico no educando também são finalidades do ensino médio, conforme o Art. 35 da LDB/96. Desse modo, seria fundamental que o professor se apresentasse aos alunos questionando suas verdades e os convidasse a fazer o mesmo; que o aluno se questione o que ele é hoje, nesse momento histórico e por que assume certas coisas como verdade. A ciência/física desempenha papel central nesse contexto, pois legitima discursos. Cabe-nos não sermos enganados em nome da própria ciência, pois ao mesmo tempo em que ela vem para combater os mitos não poder tornar-se um; deveria servir de convite a pensarmos por nós mesmos, sem a tutela de outrem. Seria nossa saída da minoridade³³. Esperamos, finalmente, que a relação entre a teoria e a prática não seja a tentativa de aplicar uma na outra, mas de mediar a teoria e a prática pela crítica, supondo-se a crítica também como autocrítica.

A bibliografia aqui apresentada tem como objetivo oferecer outras fontes para aprofundamento e, embora algumas delas sejam estrangeiras, não se trata de importação de modelos, mas de uma tentativa de iluminar nossos problemas para compreendê-los e buscarmos saídas por nossos esforços. A autonomia requer vigilância.

³² DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. Física. São Paulo: Cortez, 1992.

³³ KANT, Immanuel. A Paz Perpétua e Outros Opúsculos. Lisboa: Edições 70, 1981.