

UM EXEMPLO DE CONTRIBUIÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA PARA O ENSINO DE MATEMÁTICA

AN EXAMPLE OF THE CONTRIBUTION OF PHYSICAL EDUCATION TO MATHEMATICS EDUCATION

Ingrid Ribeiro da Rocha ¹

Helder de Figueiredo e Paula ²

RESUMO

Este trabalho descreve e analisa uma sequência de ensino que parte da investigação de um fenômeno físico, o decaimento radioativo, para propiciar a aprendizagem de um conteúdo matemático: a função exponencial. Nesta perspectiva, exploramos um exemplo de integração dos processos de ensino-aprendizagem de física e matemática. Apresentamos evidências que, em nossa opinião, corroboram a afirmação dos PCN de que essa articulação não confunde ou funde o estatuto disciplinar das ciências envolvidas em uma proposta de interdisciplinaridade. Além disso, a experiência aqui relatada nos mostra que a adoção de uma proposta de ensino contextualizado tal como preconizado nos PCN não implica abandonar os conteúdos didáticos tradicionais, isto é, aqueles conteúdos que “caem em vestibular”.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ensino de Matemática. Interdisciplinaridade. Decaimento Radioativo.

ABSTRACT

This work describes and analyzes a sequence of teaching that starts from the investigation of a physical phenomenon, the radioactive decay, to propitiate the learning of a mathematical content: the exponential function. In this perspective, we explore an example of integrating the learning processes of physics and mathematics. We present evidence that, in our opinion, corroborates the NCPs' assertion that this articulation does not confuse or merge the disciplinary status of the sciences involved

¹ Mestre em Ensino de Ciências (PUC MG), Professora efetiva Rede Pública de Minas Gerais

² Doutor em Educação (UFMG), Professor efetivo Colégio Técnico UFMG

in a proposal for interdisciplinarity. In addition, the experience reported here shows that the adoption of a contextualized teaching proposal as advocated in NCPs does not imply abandoning traditional didactic content, that is, content that "falls into the university entrance examination".

Keywords: Teaching Physics. Teaching Mathematics. Interdisciplinarity. Radioactive decay.

Introdução

Acreditamos que a cooperação entre diferentes disciplinas e/ou áreas do conhecimento escolar é sabidamente um dos caminhos para a melhoria da qualidade da educação. Tal ponto de vista, ainda que possa ser consensual no nível do discurso, certamente não se realiza na prática, dado que muitos aspectos da organização do trabalho nas escolas e da cultura escolar diminuem as chances de integração entre projetos e práticas pedagógicas desenvolvidas por professores de diferentes disciplinas ou áreas do conhecimento.

Neste trabalho, relatamos uma iniciativa que teve como horizonte a referida integração. Apesar de a experiência que aqui será relatada não ter envolvido efetivamente mais de um professor, ela envolveu mais de uma disciplina e, por isso, traz elementos importantes para que possamos refletir sobre as muitas possibilidades de trabalho coordenado entre disciplinas escolares.

Um dos desafios que enfrentamos ao elaborar o relato dessa experiência foi sua denominação. Em um primeiro momento, ocorreu-nos denominá-la como uma experiência de interdisciplinaridade. Mas uma consulta a textos que têm como objeto a interdisciplinaridade revelou-nos que, talvez, essa não fosse uma boa denominação.

É certo que poderíamos optar por denominar nossa experiência como interdisciplinar ao admitirmos a polissemia desse termo para nos abrigarmos dentro da pluralidade de possíveis sentidos associados à palavra interdisciplinaridade, mencionados por Lenoir e Larose (1998), Augusto *et al.* (2004), Lenoir (2005) ou Lavaqui e Batista (2007). Na experiência relatada neste artigo, preferimos dizer que lidamos com uma integração entre esforços e ações destinadas a promover o ensino aprendizagem de duas disciplinas cujos conteúdos podem ser colocados em diálogo: a Física e a Matemática.

Mesmo sabendo que a possibilidade de diálogo entre conteúdos não reconhece barreiras, acreditamos que ele tende a ocorrer de forma mais frequente entre disciplinas afins, como a Física e a Matemática ou a Física e a Química, por exemplo. Mas, apesar de suas relações históricas na condição de Ciências e de terem sido incluídas em uma mesma área do conhecimento pelos PCN (BRASIL, 1999), a Física e a Matemática nem sempre são articuladas no currículo da Educação Básica e nas ações dos professores que o implementam.

Temos a sensação de que a compreensão das necessidades e possibilidades de integração entre práticas pedagógicas de Física e Matemática tem se modificado ao longo dos últimos anos. Vivemos em um período em que prevalece a defesa do ensino de uma Física conceitual e da redução da importância ao tratamento matemático dos fenômenos físicos durante a Educação Básica. Não obstante, como nos lembram Ricardo e Zylbersztajn (2004), ainda é comum encontrar nos discursos de professores de Física a afirmação de que os alunos têm dificuldades em aprender Física porque não sabem Matemática.

A transformação da Física escolar em uma “Física conceitual”, que não depende de conhecimentos matemáticos mais elaborados para ser desenvolvida, é uma das principais orientações dos PCN. Os parâmetros também preconizam a importância de uma abordagem contextualizada e interdisciplinar dos conteúdos escolares. Paradoxalmente, a defesa de um tratamento menos matemático dos fenômenos físicos reduz as chances de se promover um trabalho interdisciplinar ou uma integração de esforços entre Matemática e Física.

No campo da educação Matemática, algumas propostas envolvendo modelagem têm se utilizado de fenômenos físicos (BEAN, 2001). Todavia, as propostas de modelagem Matemática que fazem referência a essa classe de fenômenos não têm, necessariamente, como seu objeto a compreensão dos mesmos, e por isso podem não contribuir para o aprendizado da Física. Essa possibilidade aparentemente contraditória de que o tratamento de um tema interdisciplinar no contexto de uma disciplina traga contribuições limitadas ao aprendizado dos conteúdos de outras disciplinas associadas ao tema encontra justificção nos PCN+ quando o documento afirma que:

[...] uma disciplina de uma área poder tratar, com contexto e interdisciplinaridade, de um tema que lhe é próprio, sem a necessidade

de, no mesmo período, outras disciplinas estarem tratando dos mesmos temas (BRASIL, 2002, p. 18).

Ainda que esse ponto de vista revele uma tentativa de expandir o universo de possibilidades para a realização de “trabalhos interdisciplinares” nas escolas, ele certamente denota uma compreensão do termo interdisciplinaridade não diretamente vinculada à ideia de uma coordenação entre projetos e práticas pedagógicas de diferentes disciplinas.

Em nossa opinião, a formação inicial estritamente disciplinar dos professores da Educação Básica torna problemático o desenvolvimento de uma abordagem interdisciplinar, quando o professor de uma única disciplina tenta abordar um tema que transcende sua própria disciplina. No caso da Física e da Matemática, entretanto, seria de se esperar que esse problema fosse mais facilmente contornável, dadas as aproximações já mencionadas entre essas duas disciplinas.

A primeira autora deste artigo é um exemplo de profissional que atua nas duas disciplinas, algo relativamente comum, principalmente em cidades de interior. Ainda assim, a tentativa de realizar a experiência aqui relatada com a participação de outra colega de trabalho mostrou-se sem sucesso. A decisão de utilizar a sequência de ensino aqui descrita e analisada em uma turma de primeiro ano do ensino médio da Escola Estadual Monsenhor Domingos, na cidade de Divinópolis, apesar da recusa à participação da professora de Física dessa turma ocorreu em função de vários motivos.

Em primeiro lugar, sentíamos que tal recusa não impediria a utilização da sequência nas aulas de Matemática, pelas quais a primeira autora deste artigo era responsável. Em segundo lugar, estávamos à busca de uma experiência educacional diferenciada que resgatasse o interesse dos estudantes dessa turma pelas aulas de Matemática. A terceira razão está vinculada a uma antecipação das dificuldades que teríamos para abordar de um modo tradicional um conteúdo programático particularmente difícil para aqueles alunos: a função exponencial. Por fim, estávamos envolvidos com a escolha de um projeto para produção de uma monografia de conclusão de um curso de especialização em Ensino de Física e acreditávamos que a análise da experiência que será aqui relatada representava uma boa ideia para desenvolver esse projeto.

A arquitetura da sequência de ensino

A sequência de cuja análise se ocupa o presente artigo tinha como sua primeira estratégia a realização de uma discussão entre o professor e os alunos sobre riscos e benefícios da utilização da energia nuclear como uma das formas de energia tecnologicamente disponíveis na atualidade. Pode-se dizer que a preocupação disseminada com a ajuda da mídia sobre o aquecimento global e a reavaliação da alternativa nuclear como fonte de energia sem impacto na geração de gases estufa compunha o quadro sociocultural mais amplo a partir do qual esse tipo de discussão se justifica.

O estudo do decaimento radioativo de um isótopo instável é o recorte que propusemos para introduzir alguns fenômenos físicos presentes no funcionamento de uma usina nuclear e nos outros processos que nos colocam diante de processos naturais e tecnológicos que envolvem esse tipo de radiação. Tal estudo permitiu a introdução de conceitos tais como o conceito de meia-vida (conteúdo da Física escolar) e a elaboração de gráficos ou a apresentação de fórmulas a partir dos quais foi introduzido o conceito de função exponencial (conteúdo da Matemática escolar).

Planejar uma sequência de ensino implica preparar atividades de ensino aprendizagem que sejam coerentes com as capacidades dos estudantes e com objetivos e metas educacionais a serem atingidos. Nas subseções seguintes, apresentamos as diversas atividades que compuseram a sequência de ensino e algumas dos critérios que utilizamos em sua escolha. Todas as escolhas foram perpassadas pela intenção de promover uma diversificação de tipos e objetivos das atividades que compuseram a sequência (PAULA, 2005).

1ª- Etapa: O questionário de abertura e os conhecimentos prévios

No discurso pedagógico, já se tornou lugar comum a afirmação de que nenhum educando é uma tábula rasa. Todo estudante tem algum conhecimento quando ingressa na escola e este conhecimento certamente interfere na aprendizagem de novos conhecimentos que é um dos objetivos centrais da educação escolar (APEC, 2003). Tomando essa ideia como ponto de partida, resolvemos criar um instrumento para identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema com que iríamos trabalhar.

Para identificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos de energia nuclear, radioatividade, decaimento radioativo e função exponencial, foi elaborado um conjunto de questões semelhante ao que é apresentado a seguir³.

Questionário:

- 1) Você sabe o que é energia atômica ou nuclear?
- 2) Como esta energia afeta o meio ambiente?
- 3) Você já ouviu falar em algum acidente que se relacione com energia nuclear?
- 4) Você sabe o que é um elemento radioativo? Como isso pode afetar sua saúde?
- 5) Você sabe o que é meia-vida de um elemento radiativo?
- 6) Você sabe alguma coisa sobre função exponencial? Relate sua experiência sobre este conceito.

2ª- Etapa: Organizadores prévios

Organizador prévio é um conceito da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. De acordo com essa teoria, um conhecimento torna-se significativo a partir do momento em que se mostre capaz de interagir com conhecimentos prévios relevantes que supostamente existem na “mente” do aprendiz. Supõe-se que, nesse processo, há conceitos-chave, chamados subsunçores, que são especialmente relevantes à compreensão dos novos conceitos a serem aprendidos e que, portanto, tendem a modificar esses novos conceitos, bem como ser por eles modificados.

Apesar de reconhecermos o fato de que a importância dada aos conhecimentos prévios é comum a vários modelos de ensino de cunho construtivista (ver, por exemplo, CARVALHO, 1998), estivemos particularmente influenciados pela teoria de Ausubel ao concebermos os organizadores prévios que fizeram parte de nossa sequência de ensino.

Segundo Moreira (2006), a teoria da aprendizagem significativa reserva para os organizadores prévios os seguintes objetivos: (i) motivar e despertar a curiosidade

³ A formulação original das questões é levemente diferente da apresentada neste artigo. Optamos aqui por “atualizar” e corrigir algumas superposições e redundâncias do formulário original sem modificar seu conteúdo e orientação.

do aluno; (ii) justificar o estudo de um determinado tema, tornando-o mais próximo da realidade do estudante. O ponto de partida é a realidade do aluno e a finalidade última é a de fazer com que o aluno reflita sobre esta realidade e a transforme.

Os organizadores prévios usados na sequência foram mobilizados a partir da discussão de um episódio da série de desenhos animados *Os Simpsons*, criada pelo cartunista Matt Groening. O episódio escolhido foi *O peixe de três olhos*. Nesse episódio, o Sr. Burns, um dos personagens do desenho e dono de uma usina nuclear, quer se candidatar a prefeito da cidade de Springfield e tem que provar que a energia nuclear é limpa e segura. O episódio mostra anedoticamente como essa forma de energia pode afetar o meio ambiente e a saúde das pessoas expostas à radiação.

3ª Etapa: Leitura de textos

A fim de fornecer elementos para que os alunos discutissem os temas propostos foram escolhidos textos extraídos de uma revista que se apresenta como um veículo de vulgarização da ciência. O texto utilizado foi *Energia Nuclear – Esse vilão pode salvar a Terra* (Revista Superinteressante, Editora Globo, julho de 2007). A matéria discutia pontos de vista favoráveis à utilização de energia nuclear como forma de minimizar a emissão de CO₂ para a atmosfera.

Após a leitura do texto e estudo dos quadros sinóticos trazidos na matéria jornalística, seguiu-se uma aula expositiva explicando o que é fissão nuclear, o que é um elemento radioativo e como funciona uma usina nuclear. O objetivo dessa aula foi o de promover, junto aos alunos, uma comparação entre as vantagens e desvantagens da utilização dos vários tipos de energia disponíveis.

4ª Etapa: Socialização

Durante uma sequência de ensino é importante promover oportunidades para a realização de atividades destinadas à avaliação processual e à organização das ideias (avaliação formativa). Por essa razão, propusemos a realização de um júri simulado para que os alunos pudessem discutir o que aprenderam nas etapas anteriores e utilizar esse conhecimento recém-adquirido ou (re)estruturado em uma situação que promovesse seu engajamento discursivo no seio de uma atividade relevante.

No júri simulado, um grupo de alunos foi orientado a argumentar a favor do uso da energia nuclear no Brasil e outro grupo contra. Parte dos argumentos usados para defender os dois pontos de vista podia ser encontrada junto aos materiais didáticos utilizados nas etapas anteriores. Algumas vantagens da utilização da energia nuclear foram apresentadas no texto *Energia Nuclear – Esse vilão pode salvar a Terra*. Algumas desvantagens da utilização deste tipo de energia poderiam ser inferidas do episódio *Peixe de três olhos*, da série de desenho animado *Simpsons*.

A dinâmica de socialização foi precedida de uma apresentação em Power Point com imagens de como vivem, hoje, as pessoas que estavam na região da Ucrânia onde ocorreu a explosão do reator nuclear de Chernobyl, no dia 26 de abril de 1986, além de algumas informações técnicas comparando a energia nuclear com os outros tipos de energia.

5ª Etapa: Atividade ilustrativa e analogia como recurso didático

Para esta etapa foi escolhida uma atividade ilustrativa que pode ser relacionada ao fenômeno da radioatividade por meio de uma analogia. A atividade *M&M's e a Radioatividade* foi retirada do Centro de Referência Virtual do Professor de Minas Gerais (<http://crv.educacao.mg.gov.br>).

Esta atividade foi escolhida com o objetivo de construir um gráfico que se assemelhe ao de uma função exponencial sem utilizar equações. A expectativa era a de que os alunos conseguissem ver elementos neste gráfico para diferenciá-lo de curvas por eles já conhecidas, tais como retas e parábolas.

6ª Etapa: Representação matemática da função exponencial

Esta etapa esteve estruturada em torno do roteiro de uma aula expositiva que utilizou o texto *O veneno persiste*, publicado na revista *Veja* (25 de julho de 2000), um periódico semanal de circulação nacional. Durante a aula, procuramos explicar o que é meia-vida e como essa informação nos permite calcular o tempo necessário para a redução da atividade radioativa de uma determinada amostra. Como representação do processo, propusemos a expressão matemática a seguir:

$$M = M_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^x$$

Após explorar os termos desta expressão, passamos à definição do que é uma função exponencial e qual é a aparência do gráfico dessa função. Isso nos levou imediatamente à comparação entre o gráfico obtido para a função exponencial e o gráfico obtido na atividade ilustrativa citada na 5ª etapa da sequência.

7ª Etapa: Aplicação e uso de conceitos aprendidos em outros contextos

O próximo passo é mostrar aos alunos que a função exponencial pode ser utilizada em várias outras situações. Em nossa sequência de ensino, promovemos esse processo de generalização a partir da resolução de uma lista de exercícios.

8ª- Etapa: Avaliação da aprendizagem

Acreditamos que a avaliação da aprendizagem deve ocorrer durante todas as etapas da sequência e envolver a participação dos alunos. É certo, além disso, que esse tipo de atividade deve encerrar uma sequência de ensino de modo a permitir um balanço final de suas contribuições em termos do aprendizado e do alcance de objetivos e metas educacionais que embasaram a concepção da sequência (avaliação formativa).

Dentro dessa perspectiva, decidimos realizar ao final da sequência um conjunto de avaliações elaboradas com o objetivo de fornecer informações sobre o processo de aprendizagem dos estudantes e para definir o conhecimento por eles adquirido. Os seguintes instrumentos compuseram esse conjunto de atividades:

- Pós-teste: Questionário com as mesmas perguntas usadas na primeira etapa.
- Avaliação de Matemática: Com questões contextualizadas e questões para utilização direta da função exponencial.
- Avaliação de Física: Questões sobre os conceitos trabalhados.
- Texto crítico sobre a atividade: espaço para os alunos pontuarem aspectos positivos e negativos da sequência.

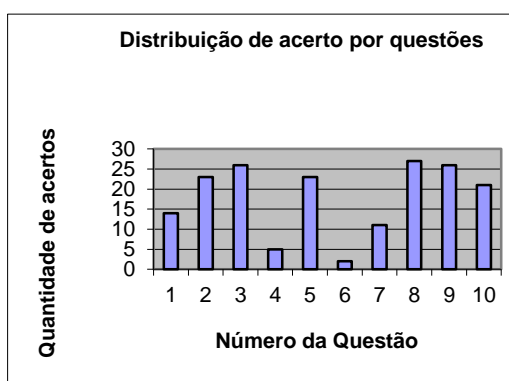
Resultados da prova realizada após a utilização da sequência

Seguindo a tradição escolar, aplicamos uma prova relacionada aos conteúdos da sequência. As questões dessa prova foram avaliadas como certas ou erradas e não foi dada nota fracionada na pontuação final. No momento da avaliação, a sala tinha 29 alunos. Dois abandonaram a escola e um não compareceu para fazer a prova. Os resultados se encontram no quadro a seguir. Como se vê pelo quadro, dois alunos alcançaram a nota total (10 pontos).

Tabela 1- Notas dos alunos na prova trimestral

Número de Alunos	Nota	Percentual
4	3	13,42%
7	5	24,14%
6	6	20,89%
5	7	17,24%
5	8	17,24%
2	10	6,89%

Somando as porcentagens dos alunos acima da média, igual a 6, chegamos à conclusão de que pouco mais de 62% dos alunos obtiveram nota 6 ou superior. A média de notas da sala foi de 6,13 pontos com desvio padrão de 1,35. O gráfico a seguir mostra o número de acertos por questão. À primeira vista, os dados parecem não ser satisfatórios, mas se estes forem comparados aos dados das provas dos bimestres anteriores, podemos identificar um aumento expressivo nas notas obtidas pelos alunos.



No primeiro trimestre, 12,19% da turma (ou 5 alunos em 41) obtiveram média igual ou superior a 6 na prova trimestral. No segundo bimestre, esse índice subiu para 30,45 % (12 alunos em um grupo de 39) e, no terceiro trimestre, após o uso da metodologia, o índice alcançou os 62,26% (ou 18 alunos em 29). Para fazer esta comparação, utilizamos apenas as notas de provas, desconsiderando as notas de projetos, atividades complementares em sala de aula ou de recuperação paralela. A queda do número total de alunos frequentes que se observa na comparação dos dados do primeiro para o terceiro trimestre deve-se à grande evasão que ocorreu na escola durante o ano letivo, fenômeno relativamente comum e que se repete todos os anos.

A avaliação de Física, valendo pontos para esta disciplina, não foi realizada já que a professora dessa disciplina não participou da atividade. O pós-teste com as mesmas questões usadas no pré-teste realizado na 1ª etapa da sequência foi a única avaliação escrita de Física que pudemos analisar. De um modo geral, os alunos conseguiram produzir respostas claras e pertinentes às questões propostas. Como a maioria da turma associou de maneira conveniente o conceito à questão proposta, não iremos realizar aqui uma análise mais pormenorizada desse teste.

Um ponto que nos chamou atenção foi o modo como os alunos responderam a questão “Você conhece alguma coisa sobre função exponencial e para que ela serve?” Tal questão que diz respeito a um conteúdo matemático, foi respondida pela maioria dos alunos (aproximadamente 61%) mediante a referência a conceitos físicos e sua aplicação. Eis uma resposta típica: “[A função exponencial] É aquela que nos permite determinar a quantidade de meia-vida de um elemento radioativo, determinar quanto pagaremos de juros em uma compra e quantidade de bactérias em um laboratório...”.

A maioria dos alunos, aproximadamente 61%, definiu a função exponencial referenciando seu discurso em conceitos e fenômenos físicos. Este é um ponto importante que poderia sugerir limitações nos resultados da sequência já que é importante que o aluno consiga definir um conceito matemático com os signos e a linguagem próprios desta disciplina.

Este dado também pode ser observado no gráfico de distribuição de acertos por questões. O menor índice de acerto está justamente vinculado às questões que envolvem conceitos mais formais de matemática ou que tratam a função exponencial de modo mais abstrato. O rendimento inferior dos alunos nessas questões demonstra

suas dificuldades no uso e na significação de signos mais abstratos. Nós, todavia, preferimos acreditar que o uso de fenômenos e conceitos físicos para dar significado a conceitos matemáticos mais abstratos é um caminho de superação dessas limitações e não um modo de perpetuá-las. Em outras palavras, acreditamos que, para a maioria dos estudantes, o uso reiterado de conceitos e signos abstratos não contribui para a apropriação e a compreensão dos mesmos.

Considerações Finais

O resultado do trabalho de um professor é influenciado pelo conhecimento específico que ele tem da disciplina com a qual ele trabalha, bem como por suas crenças em relação aos processos de aprendizagem. Esse conhecimento não é estático, mas evolui com o tempo. A confrontação entre o planejamento e o resultado das avaliações realizadas junto aos alunos é, certamente, um elemento poderoso para elevar a compreensão do professor acerca das relações entre ensino e aprendizagem.

Com o tempo, essa compreensão pode elevar a competência pedagógica do professor, ou seja, sua capacidade em proporcionar aos alunos as situações mais favoráveis de crescimento intelectual e emocional que possam sustentá-los na aprendizagem de conteúdos escolares específicos, tanto quanto nos desafios e demandas impostas pela vida em sociedade.

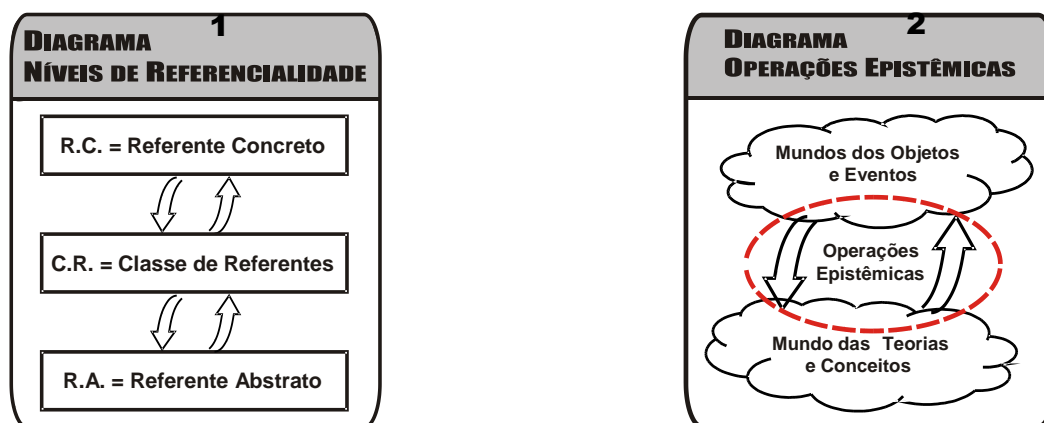
Em meados de 2007, a primeira autora deste artigo começou a conceber a sequência de ensino, sumariamente descrita nas seções anteriores, com a intenção de fazer uso de conceitos e fenômenos estudados pela Física para estimular os alunos a compreender o papel da Matemática como estruturadora do pensamento humano e o papel da função matemática como uma mediação a partir da qual podem ser realizadas previsões quantitativas sobre fenômenos naturais.

Naquela ocasião, a inspiração na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel foi determinante nas escolhas e decisões tomadas na definição das características da sequência. Foi a partir dessa inspiração, por exemplo, que surgiu a ideia de utilizar fenômenos e conceitos estudados pela Física para ensinar um conteúdo da Matemática escolar. Essa estratégia permitiu naquela época a escolha de organizadores prévios disponíveis no contexto sociocultural dos estudantes. Tais organizadores tinham a função de tornar mais significativa a aprendizagem de

conceitos matemáticos abstratos, tais como aqueles associados à compreensão da função exponencial.

O processo de produção deste artigo, a quatro mãos, e as discussões que realizamos após o término da experiência de ensino aprendizagem estruturada a partir da sequência nos permite apresentar outras razões que reiteram decisões tomadas na concepção da sequência e nos desvinculam de uma filiação à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

A justificativa para se utilizar fenômenos físicos na abordagem de conteúdos previstos no currículo de Matemática da Educação Básica pode ser realizada, por exemplo, a partir dos conceitos de níveis de referencialidade e de operações epistêmicas apresentados por Silva e Mortimer (2007, partes I e II). Os diagramas 1 e 2 apresentados a seguir constituem um recurso para o registro de alguns dos aspectos mais importantes desses conceitos e serão brevemente analisados a partir de agora.



De acordo com Silva e Mortimer (2007, partes I e II), as ações de linguagem por meio das quais o conhecimento é apresentado e discutido em sala de aula envolvem a produção de enunciados que ora tomam como base referentes concretos, tais como a usina de Chernobyl ou o Urânio radiativo nela utilizado, ora tratam de referentes abstratos como é o caso, por exemplo, do conceito de radiação alfa, beta ou gama. Os referentes concretos estão associados ao mundo dos objetos e eventos, mencionado no diagrama 2, enquanto os referentes abstratos seguem associados ao mundo das teorias e conceitos.

Do ponto de vista dos níveis de referencialidade, a passagem de referentes concretos a referentes abstratos (e vice-versa) geralmente implica na produção de enunciados que envolvem classes de referentes. Uma classe de referentes concretos é, por exemplo, o conceito de isótopo radioativo que se refere a um grande número

de diferentes referentes concretos tais como o Urânio, o Plutônio ou o Césio. Uma classe de referentes abstratos é, por exemplo, o conceito de núcleons criado para designar indistintamente prótons e nêutrons presentes no núcleo atômico, dada a importância desse número na definição do comportamento radiativo dos isótopos de um mesmo elemento químico.

À luz desses conceitos e do referencial teórico do qual eles fazem parte, é razoável se especular que propostas de ensino, tais como a que apresentamos neste artigo, elevam o engajamentos dos estudantes na produção do discurso em sala de aula e na negociação dos sentidos dados aos conceitos-chave em torno dos quais se estrutura o conhecimento escolar. Adotando o ponto de vista de D'Amore (2005), constatamos que os estudantes costumam se relacionar com os signos usados para representar os conceitos matemáticos como se eles fossem seus referentes concretos e, por isso, não se apropriam do conceito visto que os confundem com suas representações. A presença de referentes “concretos”, em situações de ensino de matemática, associados ao mundo dos objetos e eventos pode aumentar as chances de que os estudantes distingam os conceitos matemáticos de sua representação semiótica e dos objetos e eventos a que eles estão associados.

No desenvolvimento da sequência de ensino aqui descrita, tivemos oportunidade de explicar aos estudantes como o processo de fissão nuclear que ocorre nos reatores das usinas permite a conversão de massa em energia, segundo a equação $E=mc^2$. Essa equação, além de sua utilidade na compreensão dos fenômenos associados ao funcionamento de uma usina, possui a importante característica de apresentar um expoente sem ser, todavia, uma função exponencial. A compreensão do conceito matemático mais importante da sequência de ensino, a função exponencial, pode ser então enriquecida pela apresentação de um exemplo de uma função que possui expoente, mas não é uma função exponencial. Esse exemplo também reforça a ideia de que o tratamento de fenômenos físicos pode elevar os referentes que podem ser conectados aos conceitos matemáticos e que, por isso, tendem a contribuir para a compreensão dos mesmos.

Ao avaliar os resultados educacionais da aplicação da sequência, constatamos que vários objetivos concebidos na etapa de planejamento foram alcançados: os alunos mostraram-se mais interessados pelas aulas, demonstraram entusiasmo e realizaram os trabalhos com mais satisfação do que ocorria normalmente, quando os conteúdos eram abordados de forma tradicional.

Acreditamos que foi propiciada aos estudantes uma aquisição mais significativa de vários conhecimentos. Observamos que a Física deu uma significação interessante à Matemática. Sempre que um aluno terminava de resolver uma equação exponencial, ele conseguia entender o que era aquele número: o tempo que a região de Chernobyl terá de ficar isolada, a idade de um fóssil, o tempo de meia-vida de um medicamento.

Todo o trabalho fundamentou-se numa proposta de integração entre conteúdos da Física e Matemática que poderia ser chamado de interdisciplinar, dada a natureza polissêmica desse termo. Notamos, ainda, que essa integração não confunde ou funde o estatuto disciplinar dessas duas Ciências. Além disso, a experiência aqui relatada nos mostra que a adoção de um ensino contextualizado preconizado pelos PCN (1998) não implica abandonar os conteúdos didáticos tradicionais, isto é, aqueles conteúdos que “caem em vestibular”.

Referências Bibliográficas

- APEC. Por um novo currículo de ciências para as necessidades de nosso tempo. Belo Horizonte: **Presença Pedagógica**. V.9, n.51, p.43-55, 2003.
- AUGUSTO, T. G. da Silva *et al.* Interdisciplinaridade: concepções de professores da área ciências da natureza em formação em serviço. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 2, p. 277-289, 2004.
- BEAN, Dale. O Que é Modelagem Matemática? **Educação Matemática em revista**. Ano 8, n. 9/10. São Paulo: Abril, 2001.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, 2002.
- CARVALHO, A. M. P. **Física: Proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: EPU. 1989.
- D'AMORE, B. **Epistemologia e Didática da Matemática**. Tradução de Maria Cristina Bonomi Baruli. São Paulo, Escrituras Editora, 2005.
- LAVAQUI, V.; BATISTA, I. L. Interdisciplinaridade em ensino de ciências e de matemática no ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 399-420, 2007.

LENOIR, Y. Três interpretações da perspectiva interdisciplinar em educação em função de três tradições culturais distintas. **Revista E-Curriculum**, PUCSP, São Paulo, v. 1, n. 1, 2005.

LENOIR, Y.; LAROSE, F. Uma tipologia das representações e das práticas da interdisciplinaridade. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 79, n. 192, p. 49-59, 1998.

MOREIRA, Marco A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 2006

PAULA, H. F. A diversificação das atividades de ensino aprendizagem. *In*: NARDI, R.; BORGES, O. (org.). ABRAPEC. **Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru (SP), 2005.

PIETROCOLA, Maurício (org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora UFSC 2000

RICARDO, Elio C.; ZYLBERSZTAJN, Arden. O ensino de física em nível médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais na formação inicial. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. **Atas...** Jaboticatubas (MG), de 26 a 30 de outubro de 2004.

SILVA, A. C. T. e MORTIMER, E. F. Caracterizando estratégias enunciativas de uma aula de química: Uma análise sobre os gêneros do discurso – Parte 1: Dados Gerais. *In*: MORTIMER, E. F.; AGUIAR, O. G. (org.). ABRAPEC. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Atas...** Florianópolis, 2007.

SILVA, A. C. T.; MORTIMER, E. F. Caracterizando estratégias enunciativas de uma aula de química: Uma análise sobre os gêneros do discurso – Parte 2: Micro Análise. *In*: MORTIMER, E. F.; AGUIAR, O. G. (org.). ABRAPEC. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Atas...** Florianópolis, 2007.