

Uma abordagem histórico-pedagógica para o ensino de Ciências nas séries iniciais do Ensino Fundamental

Irinéa de Lourdes Batista e Eliane Maria de Oliveira Araman

Departamento de Física e Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática/UEL. E-mails: irinea@uel.br ; em_araman@yahoo.com.br

Resumo: Este trabalho apresenta o resultado de uma investigação da aplicação da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental, sob a perspectiva da Aprendizagem Significativa. Juntamente com as adequações necessárias para atender a faixa etária dos sujeitos de nossa investigação, elaboramos uma articulação entre os referenciais teóricos que dão suporte para o desenvolvimento de uma abordagem histórico-pedagógica para as séries iniciais do Ensino Fundamental. O exemplar fenomenológico de interesse conceitual escolhido na abordagem foi o Arco-Íris, que fomentou um aporte histórico-epistemológico rico e adequado para este nível de ensino. A novidade metodológica que apresentamos contempla a necessidade de implementar novas metodologias que introduzam a criança a Alfabetização Científica nesse nível de Ensino.

Palavras-chave: História da Ciência, arco-íris, aprendizagem significativa, alfabetização científica, séries iniciais da Educação Básica.

Title: A historical-pedagogic approach for Science teaching in Elementary School

Abstract: This paper presents an investigation about the application of History of Science for the learning of physics concepts on elementary school, on the perspective of Meaningful Learning. Along with necessary adequacies to attend people on the age of our investigation, we have elaborated an articulation between theoretical references that support the development of an approach for an application of historical-pedagogic study on elementary school. The phenomenological exemplar of interest chosen for this study was Rainbow, which stimulated a rich and adequate epistemological contribution to this level of teaching. The methodological newness we present contemplates the need of implementing new methodologies that propitiates Scientific Alphabetization to students from elementary school.

Keywords: Science history, meaningful learning, Scientific literacy, Elementary School, rainbow.

Introdução

Neste trabalho, apresentamos a investigação da construção de uma abordagem histórico-pedagógica que possibilite o entendimento de conceitos científicos por crianças das séries iniciais do Ensino Fundamental. Essa abordagem contempla reconstruções histórico-epistemológicas dos

estudos físicos a respeito do fenômeno Arco-Íris, escolhido como exemplar conceitual da pesquisa.

Muitas pesquisas abordam o papel positivo que a utilização da História da Ciência pode desempenhar no Ensino de Ciências, bem como seu caráter explicativo. Assim, este já é um conhecimento pressuposto. O que mostramos aqui, como novidade teórico-metodológica, é a investigação e identificação de elementos mais adequados no elaborar de uma abordagem histórico-pedagógica para o Ensino de Ciências que atenda as características cognitivas dos alunos dessa faixa etária, e que a utilização dessa abordagem colabora para o processo de aprendizagem de conceitos físicos nas crianças, tendo este último aspecto uma função valorativa de corroboração empírica da pesquisa.

Os referenciais teóricos que apresentamos buscam dar suporte para a investigação do processo de construção da abordagem, dentre os quais destacamos os principais aspectos da utilização da História e Filosofia da Ciência e como isso pode colaborar para a aprendizagem em Ciências; a relevância da Alfabetização Científica e referenciais teóricos necessários e adequados para a aprendizagem em Ciências que visem a construção de conhecimentos pelas crianças.

Desse modo, nossa elaboração teórica visou uma articulação integrada desses pressupostos, de modo a respeitar fundamentos construtivistas, historiográficos e didáticos em um uso processual em que alguns dos principais episódios históricos que colaboraram para a explicação científica do Arco-Íris são aproveitados na elaboração de uma seqüência histórica de atividades desenvolvidas, juntamente com o aporte teórico-metodológico adequado para a faixa etária dos sujeitos da nossa pesquisa. A seqüência de atividades resultante dessa investigação foi aplicada em turmas de quarta série de escolas municipais públicas de Londrina/PR/Brasil, totalizando 124 alunos entre 9 e 11 anos. A elaboração de Mapas Conceituais por esses alunos, segundo a teoria da Aprendizagem Significativa, constitui uma avaliação empírica da nossa pesquisa, sendo que a análise dos resultados obtidos são expostos e discutidos, juntamente com a avaliação teórico-metodológica global.

Reconstrução dos principais episódios históricos para a explicação do arco-íris

Nessa reconstrução, expomos os aspectos relevantes do desenvolvimento da explicação física do fenômeno Arco-Íris, suficientes para dar o suporte histórico e epistemológico no desenvolvimento da seqüência didática de atividades desenvolvidas nessa abordagem.

As primeiras teorias a respeito do Arco-Íris descrevem este fenômeno como sendo causado pela reflexão da luz, ou dos raios visuais, em vapores médios. Esta concepção pode ser encontrada no trabalho de Aristóteles *Meteorológica*, que dominou o pensamento nesse assunto até o século XIX (Boyer, 1956). De acordo com a visão Aristotélica, o Sol é refletido pelas gotinhas que compõe uma nuvem côncava, atribuindo a formação do Arco-Íris à reflexão de gotinhas discretas presentes na superfície de uma nuvem.

“Quando está no ponto de chover e o ar nas nuvens está no processo de formar pingos de chuva mas a chuva não está efetivamente lá, se o sol é oposto, ou qualquer outro objeto luminoso o bastante para fazer da nuvem um espelho e causar a visão a ser refletida, então a reflexão tem que preservar a cor do objeto sem a sua forma. Considerando que cada um dos espelhos pequenos seja invisível e o que nós vemos ali é a sua magnitude contínua, a reflexão necessariamente nos dá uma magnitude contínua feita de uma cor; cada um dos espelhos contribuem com a mesma cor ao conjunto... Está claro, então, que o arco-íris é uma reflexão da visão do Sol”(Aristóteles apud Lindberg, 1966, p. 238).

Por volta de 650 d.c., sem outros estudos relevantes desde Aristóteles, encontramos Al Qarāfi, que escreve um trabalho científico em óptica conhecido como *Kitāb al istibsār fīmā tudrikuhu'l absār* que pode ser traduzido como “A revelação do que os olhos podem perceber”. Segundo Sayili (1940), Al Qarāfi preparou este livro escrevendo cinquenta questões no qual o 36º problema é o que trata do Arco-Íris. Ele primeiro estabelece as condições necessárias para o aparecimento do Arco-Íris e dá as posições relativas do Sol, do observador e do arco, afirmando que ele é produzido no ar pela reflexão do Sol nos vapores, mas que a imagem não tem a forma do objeto porque os espelhos que dão origem à imagem são muito pequenos. Ele também determina que seja quatro as cores do Arco-Íris: vermelho, amarelo, azul-celeste e a cor pura (luz direta), esta última não seria resultado da mistura da cor dos raios solares com a dos vapores d'água. Apesar de Al Qarāfi ter se dedicado à explicação do Arco-Íris, é relevante esclarecer que sua visão de reflexão baseava-se na idéia de que ambos os raios, os que procedem dos olhos e os que procedem da fonte luminosa, obedecem às leis de reflexão.

Até o início do século XIII, a teoria do Arco-Íris tinha avançado pouco em relação ao que já se conhecia desde essas concepções. Porém, a situação ia mudar radicalmente nos próximos cem anos, e neste movimento de mudança, Robert Grosseteste ocupa uma posição fundamental (BOYER, 1954). Entre os seus numerosos trabalhos há um com o título *De iride seu de iride et speculo*, provavelmente escrito antes de 1225, no qual ele esboça as três visões habituais de perspectiva: a visão direta (ótica), a reflexão (catóptrica) e a refração (dióptrica). Para ele, a refração era o fenômeno mais difícil dos três, porém o mais maravilhoso, pois faz coisas distantes parecerem próximas e pequenas coisas parecerem grandes. Na sua formulação, encontramos que na reflexão, o ângulo de incidência está em igualdade ao ângulo de reflexão; mas na refração, os fenômenos dependem do ângulo no qual o objeto é visto, a posição e ordem dos raios e a distância (Boyer, 1954).

Neste trabalho Grosseteste faz, possivelmente pela primeira vez, uma associação do Arco-Íris com o importante fenômeno da refração, estudando-o por meio da passagem da luz através de prismas e de vasos de vidro preenchidos com água. Entretanto, alguns historiadores da Física negligenciaram a sua contribuição, atribuindo ao trabalho de Witelo, escrito em 1269, dezesseis anos após a morte de Grosseteste, o primeiro uso da refração na explicação do Arco-Íris. Apresentando sua teoria moderna, esse autor primeiramente refuta a idéia tradicional de que o Arco-Íris é devido à

reflexão dos raios de Sol na superfície de uma nuvem (entendida como um espelho côncavo ou convexo). Ele afirma que o arco formado é devido à refração dos raios dentro de uma nuvem úmida convexa. Os raios de Sol são refratados ao passar de um meio mais denso para outro, de densidade diferente, sendo que em cada passagem ocorreria uma refração. Nesta explicação, a refração entra com ênfase na teoria do Arco-Íris, mas, infelizmente Grosseteste parece ter deixado de lado a reflexão, fenômeno também necessário para a explicação. Ele não declara explicitamente que a refração poderia ser usada para explicar as cores. Porém, há uma sugestão de que ele pode ter associado cor e refração, pois ele diz que a variedade de cores é devido à mistura da luz com os meios diáfanos (Boyer, 1954). É certo que a explicação do Arco-Íris de Grosseteste é crua e fantástica, mas deve também ser lembrado que esta é a primeira tentativa de se incluir a refração.

Contrariando os avanços introduzidos por Grosseteste, Roger Bacon (c.1214/1220-1292) rejeitou a consideração da refração na explicação do Arco-Íris, reafirmando a teoria da reflexão, segundo a teoria Aristotélica. Roger Bacon viveu uma geração após Grosseteste e teve acesso aos trabalhos dele, pois os cita literalmente. Segundo Lindberg (1966), embora Bacon tenha negado o papel da refração, ele avançou na teoria do Arco-Íris porque, embora Bacon não corroborasse com a causa da refração, ele desenvolveu e refinou outros componentes essenciais para uma explicação satisfatória do Arco-Íris. Hoje sabemos que a refração é essencial, mas também é necessário considerar a reflexão envolvida e que tanto a refração quanto a reflexão ocorrem em gotas individuais. Bacon fez uma significativa contribuição quando chamou a atenção à função desenvolvida pelas gotas individuais e a importância da posição do observador em relação ao Arco-Íris. Ele recorreu a seus antecessores, principalmente Aristóteles, para a geometria básica do Arco-Íris. Segundo Bacon (Bacon apud Lindberg, 1966), o Arco-Íris sempre aparece diretamente oposto ao Sol, existindo uma linha que conecta o seu centro ao centro do Sol e atravessa o olho do observador. Bacon contribuiu para a geometria do Arco-Íris ao afirmar, corretamente, que a elevação média máxima do arco é de 42° . A geometria básica do Arco-Íris, como foi esboçada, estava à frente da teoria de Aristóteles. O problema que demandava atenção era a causa das cores do Arco-Íris. Bacon declarou, apoiado em Aristóteles, que as cores eram o resultado de um defeito de visão, o enfraquecimento ou atenuação dos raios visuais ao passarem por meios densos (Lindberg, 1966).

Outro aspecto considerado por Bacon é que dois observadores separados por uma pequena distância não podem ver o mesmo Arco-Íris. Bacon expressou o argumento,

“Se duas pessoas estão observando o arco-íris ao norte e uma se move para o oeste, o arco-íris se moverá paralelo a ele; se o outro observador se mover para o leste, o arco-íris se moverá paralelo a ele; e se ele ficar parado, o arco-íris permanecerá estacionário. É evidente, então, que há tantos arco-íris quanto os observadores, do que se segue que dois observadores não podem ver o mesmo arco-íris, embora uma pessoa inexperiente não compreenda este fato. Como a sombra de cada observador divide o arco do arco-íris ao meio, então, desde que as sombras são sensivelmente paralelas, elas não se

encontram ao meio do mesmo arco-íris, e cada observador tem que ver seu próprio arco-íris" (Bacon apud Lindberg, 1966, p. 242).

Bacon ainda afirma que o Arco-Íris é produzido quando os raios de luz solar atravessam pequenas gotas em quantidade infinita que descem de uma nuvem; em cada um destes pingos de chuva ocorre uma reflexão como em um espelho esférico, e desde que eles caem sem intervalo, parecem ser contínuos de longe. Então, a imagem do Sol parece contínua e não multiplicada de acordo com a multidão de gotas.

Uma primeira explicação elementar correta para o Arco-Íris foi dada por Teodorico de Freiberg (†c. 1310), aproximadamente por volta do início do século XIX, em que foi demonstrado pela primeira vez que o Arco-Íris primário é causado por duas refrações e uma reflexão dos raios de Sol nas gotas de chuva, e o arco secundário é causado por duas refrações e duas reflexões. O livro de Teodorico a respeito do Arco-Íris, *De Iride et Radialibus Impressionibus*, é um trabalho longo e composto de quatro partes: um tratamento geral da teoria da óptica; depois a teoria do Arco-Íris primário; em seguida, a explicação do arco secundário; e, por fim, uma consideração dos outros tipos de impressões induzidas por raios. Segundo Boyer (1959), Teodorico afirmou que as cores que aparecem no Arco-Íris são quatro. Essa afirmação categórica é claro, era injustificada; mas pelo menos ele justificou sua argumentação não a partir da numerologia, como fez Roger Bacon, mas de observações feitas por ele, como cores em teias de aranha, nos Arco-Íris vistos nos borrifos de água de rodas de moinhos, nas gotas de orvalho na grama (se o olho for colocado próximo a elas), em cristais hexagonais colocados na luz do Sol, em gotas d'água aspergidas na luz do Sol e observadas por alguém situado na sombra. Em cada um e em todos esses casos, as cores e seu arranjo são o mesmo: primeiro vermelho, depois amarelo, em seguida verde e finalmente roxo.

Seus experimentos com o frasco esférico de água, sua gota d'água aumentada, o levaram a uma observação que foi crucial para sua teoria do Arco-Íris. Ele percebeu a reflexão dos raios luminosos na superfície côncava interna da gota d'água. No caso de raios luminosos que atravessam gotas de chuva, a reflexão interna não é total; parte da luz atravessa a superfície traseira, como Teodorico bem sabia. Mas ele descobriu que a reflexão de raios luminosos na superfície interna tem uma intensidade suficiente para gerar uma impressão no olho do observador e isso ele tomou como sendo a explicação para o Arco-Íris:

"Deixe a irradiação entrar no corpo transparente, muitas vezes mencionado, e passar através dele para a superfície oposta, e daí ser refletida internamente de volta para a primeira superfície pela qual entrou originalmente, e depois de ele sair deixe-o ir para o olho; tal irradiação, eu digo, porquanto é produzida por um corpo esférico transparente, serve para explicar produção do arco-íris" (Teodorico de Freiberg apud Boyer, 1959, p. 114).

Antonius de Dominis (1564-1624), arcebispo de Spalatro, acreditava que havia descoberto seus resultados independentemente, e publicou-os num tratado científico, *De radiis visus et lucis*, de 1611, um pequeno volume de oitenta e sete páginas, que tinha como objetivo examinar sua teoria da formação do Arco-Íris e considerar controvérsias que pudessem aparecer

acerca dela. Segundo Ockenden (1936), Dominis estava enganado a respeito de sua explicação para o arco secundário, ele certamente não tinha a idéia de que era causado por duas reflexões e duas refrações dos raios solares. Entretanto, sua explicação para o Arco-Íris primário é incompleta; ele percebeu anteriormente que de fato os raios são refratados quando emergem de uma gota de chuva; entretanto, ele sugere que isto possa acontecer no caso do arco secundário, embora ele não esclareça a razão. É necessário insistir nesses erros fundamentais, uma vez que ainda é creditada a Dominis, na maioria dos trabalhos de referência, a explicação correta do Arco-Íris primário e do secundário. O que pode ser reivindicado de maneira justa para Dominis é que ele deu uma explicação bastante melhorada do Arco-Íris primário em relação a qualquer outro que publicou antes de 1637, quando Descartes elaborou a teoria elementar correta de ambos os arcos.

No Discurso VIII, do livro *Meteoros* (Descartes, 1996), Descartes se dedica a determinar as causas do Arco-Íris, segundo ele uma maravilha da natureza que merece ser compreendida pelos homens. Descartes utiliza conhecimentos já existentes, como a lei de refração, a explicação mecanicista das cores e experiências já utilizadas, para explicar o fenômeno do Arco-Íris de acordo com leis físicas conhecidas (Battisti, 2002). Primeiramente, Descartes determina que o Arco-Íris aparece quando os raios de luz incidem sobre gotículas de água presentes no ar e que pode ocorrer naturalmente ou ser produzido de maneira artificial. Descartes conclui que são nas gotas de água que se encontra a problemática na qual o fenômeno tem sua origem (Battisti, 2002). Assim, Descartes constrói um recipiente de vidro esférico e transparente, simulando uma "grande gota d'água", para reproduzir e examinar o que ocorre no interior da gota durante o fenômeno do Arco-Íris, e também explicar as razões da aparição de duas regiões coloridas e de intensidades diferentes (Descartes, 1996). A partir das observações realizadas, Descartes demonstra geometricamente as refrações e reflexões que ocorrem dentro dessa gota durante a formação do Arco-Íris e generaliza suas conclusões, pois é somente na presença de infinitas gotas que podemos percebê-lo.

Em 1672, Newton enviou para *Royal Society* o artigo "Nova Teoria da Luz e das Cores", no qual demonstrou que as diferentes refrações da luz produzem cores diferentes. Ele esclareceu que conseguiu um prisma de vidro triangular para realizar o fenômeno das cores em que a luz do Sol atravessa o prisma de vidro e produz as cores do espectro. Newton prosseguiu tentando compreender qual é o motivo da diferença na incidência dos raios vindos do Sol que formavam a figura alongada do espectro colorido.

A análise das várias possibilidades de caminhos para os raios de luz levou Newton a realizar outro experimento que ele próprio denominou de *Experimentum Crucis*. Nesse experimento, a luz solar passa através de um primeiro prisma e atinge um anteparo com um pequeno furo, de modo que uma única cor passe através dele, atingindo um segundo prisma. Newton observou que o segundo prisma não alterava a cor desse feixe secundário, notando também que cores diferentes sofriam deflexões diferentes no segundo prisma, ou seja, a luz vermelha sofria novamente o menor desvio e a cor violeta novamente sofria o maior desvio. Sua conclusão foi que "a

luz branca consiste em uma mistura de todas as cores que aparecem no espectro, cada cor sendo *separada* das outras – mas não *criadas* – pelo prisma, devido suas diferentes refrangibilidades” (Newton, 2002, p. 59). Newton (1996) prosseguiu informando a causa da origem das cores e, para isso, escreveu treze proposições expondo todos os aspectos considerados por ele na formação das cores. Ele considerou que as cores não são qualificações da luz oriundas da refração ou da reflexão, mas propriedades originais dos raios de luz. Para o mesmo grau de refrangibilidade haverá sempre a mesma cor. Os raios menos refrangíveis apresentam uma cor vermelha, os raios mais refrangíveis exibem uma cor violeta e assim acontece com as cores intermediárias. Newton (1996) argumentou que a cor e seu grau de refrangibilidade não são mutáveis por meio da refração ou da reflexão, embora tenha feito várias tentativas para verificar se ocorria alguma mudança. No entanto, podem ser feitas misturas de diversos tipos de raios, constituindo uma cor intermediária resultante da combinação de uma cor com outra. Mas, quando esses raios forem novamente separados, voltarão a exibir as mesmas cores de antes, existindo dois tipos de cores:

“um original e simples, o outro composto dessas. As cores Originais ou primárias são Vermelho, Amarelo, Verde, Azul e um Púrpura-violeta, junto com Laranja, Índigo e uma variedade indefinida de gradações Intermediárias”(Newton, 1996, p. 322).

Ele afirmou que podem ser feitas misturas de diversos tipos de raios, constituindo uma cor intermediária resultante da combinação de uma cor com outra. Mas, quando esses raios forem novamente separados, voltarão a exibir as mesmas cores de antes, exibindo dois tipos de cores. Mas o que causou uma perplexidade em Newton foi a composição da luz branca pelas cores primárias:

“Mas a composição mais surpreendente e maravilhosa foi aquela da Brancura. Não há nenhum tipo de Raio que sozinho possa exibi-la. Ela é sempre composta, e para sua composição são necessárias todas as Cores primárias citadas anteriormente misturadas numa proporção devida” (Newton, 1996, p. 322).

Quanto à formação do Arco-Íris, Newton (2002) explicou que o efeito é o resultado da refração da luz do Sol nas gotas de chuva e que isso já havia sido compreendido e demonstrado por pensadores anteriores a ele, como Antonius de Dominis e Descartes. Mas como esses pensadores não conseguiram demonstrar a origem das cores, Newton faz uma rigorosa demonstração de sua teoria recorrendo a geometria em uma circunferência simulando a gota de chuva, em que cada grau de refração exibirá uma cor própria (Newton, 2002).

Apresentação da abordagem histórico-pedagógica para o ensino de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental

Um estudo que contemple a aprendizagem de um conceito físico nas séries iniciais do Ensino Fundamental, baseado na investigação histórica do desenvolvimento de um conceito, necessita de um aporte teórico-metodológico que atenda as especificidades dessa faixa etária. Tal investigação mostrou-se bastante instigante, uma vez que não

encontramos, em nosso levantamento bibliográfico, pesquisas na área que apresentem e investiguem propostas para o ensino de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental apoiadas no desenvolvimento histórico e epistemológico do conceito em questão. Sendo assim, nesta etapa do trabalho pesquisamos o processo de integração de referenciais para construção de atividades, organizadas em uma seqüência histórico-didática, que contribuam para uma Aprendizagem Significativa e que possibilitem a inserção do aluno dessa faixa etária na cultura científica.

Para Piaget, "todo conhecimento, incluindo a capacidade de raciocinar logicamente, é construído pelo indivíduo na medida em que ele age sobre objetos e pessoas e tenta compreender sua experiência" (Piaget apud Kamii e Devries, 1985, p. 32). Dessa forma, a fonte de conhecimento físico está principalmente no objeto e na forma como este objeto proporciona oportunidades de observação à criança. Na experiência física, a criança obtém informações do objeto por abstração da empiria. Entretanto, a experiência física não ocorre sozinha; ela ocorre junto com a experiência lógico-matemática. Na experiência lógico-matemática, o conhecimento é derivado da ação do sujeito em relação com o objeto, na forma como o sujeito organiza a realidade. O conhecimento lógico-matemático é construído pela abstração reflexiva, que é diferente da abstração empírica, pois se dá por meio da ação do indivíduo em introduzir relações entre e nos objetos. Assim, não pode haver conhecimento físico sem uma estrutura lógico-matemática. O termo *ação*, segundo a terminologia piagetiana, pode ser compreendido de duas formas: a primeira como ação manipulativa sobre objetos e a segunda, que é mais difícil de entender, é a ação mental que a criança faz sobre o objeto sem mesmo tocá-lo. A ação mental é necessária para a construção tanto do conhecimento físico como do conhecimento lógico-matemático, mas a manipulação física é indispensável para que a ação mental se torne possível (Kamii e Devries, 1985).

As atividades de conhecimento físico, baseadas no construtivismo piagetiano, estabelecem que a criança construa seu conhecimento físico e lógico-matemático por meio de suas ações sobre os objetos e, quanto mais variadas e estimulantes forem essas ações, mais o funcionamento da inteligência será estimulado. Nesse sentido, o papel do professor é proporcionar situações variadas que estimulem os alunos nesse processo, criando condições para seu desenvolvimento. Piaget faz uma distinção entre conhecimento em um sentido amplo e conhecimento em um sentido restrito. Conhecimento no sentido restrito trata-se de "porções específicas de conhecimento que só podem ser entendidas por assimilação dentro da totalidade de conhecimento no sentido amplo" (Kamii e Devries, 1985, p. 44). A construção do conhecimento no sentido amplo depende de uma vasta rede de relações, não sendo, portanto, uma coleção de fatos específicos, mas uma rede de idéias organizadas. As atividades de conhecimento físico auxiliam na coerência entre as porções específicas de informação contribuindo para a aprendizagem no sentido amplo do termo, pois permitem que a criança estabeleça relações bem estruturadas em que cada idéia é apoiada por uma rede total de outras idéias, enriquecendo as porções de conhecimento anteriores. Desse modo, argumentamos que as relações entre as idéias que vão sendo aprimoradas pelas atividades específicas de conhecimento físico

podem contribuir para uma Aprendizagem Significativa de um conceito físico em sentido amplo.

Com relação á necessidade de ação sobre o objeto, as pesquisas de Kamii e Devries (1985) e de Carvalho *et al* (1998) mostram que ação com experimentos devem ultrapassar a simples manipulação de materiais, encaminhando os alunos para a reflexão e a busca por explicações. Essas ações podem ser alcançadas de acordo com quatro níveis:

1. *Agir sobre os objetos e ver como eles reagem:* ao agir sobre os objetos para ver como eles funcionam, as crianças começam a construir novas hipóteses, relacionando as suas várias ações com as reações apresentadas pelo objeto.

2. *Agir sobre o objeto para obter o efeito desejado:* neste nível, a criança continua a sua ação sobre o objeto, mas agora deliberadamente, buscando o efeito ou resultado que deseja obter para a solução do problema.

3. *Ter consciência de como produziu o efeito desejado:* a atividade não acaba com a solução do problema, a criança agora precisa compreender, ou seja, refletir como conseguiu resolver determinado problema e o porquê dele ter dado certo. Ao refletir a respeito de como conseguiu resolver tal problema, a criança toma consciência de suas próprias ações e, ao procurar o porquê, começará a dar explicações causais para a compreensão dos fenômenos físicos.

4. *Explicação das causas:* Ao contar como resolveram o problema, os alunos começam a perceber a coordenação dos eventos, iniciando a conceituação.

Pensando no que fez, para contar para o professor e para classe, o aluno vai fazendo ligações lógicas, estabelecendo conexões entre suas ações e reações dos objetos. As relações gradualmente vão sendo desvinculadas das ações da própria criança para as relações entre modificações dos atributos físicos dos objetos e respectivos resultados (Carvalho *et al*, 1998).

A partir da importância da capacidade de expressão dos alunos, não só verbalmente, mas também por meio da escrita, os pesquisadores Carvalho *et al* (1998) sugerem também como atividade, solicitar aos alunos que desenhem e/ou escrevam a respeito do que fizeram na sala de aula. A análise desses relatos pode ser uma fonte rica para o professor e para o investigador na busca por elementos que indiquem aprendizagem.

Na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, "aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva" (Moreira e Masini, 1982, p. 4). Esse processo se dá a partir da relação com outras idéias que o sujeito já possui. Ausubel considera que a aprendizagem significativa é o processo cognitivo natural do indivíduo, ou seja, o "mecanismo humano por excelência de aquisição e armazenamento de uma vasta quantidade de idéias e informações representadas por algum campo do conhecimento" (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980, p. 33). As novas idéias e informações são aprendidas na medida em que novos conceitos estejam realmente claros na estrutura cognitiva do sujeito, funcionando como pontos de apoio para a ancoragem de novas idéias. Porém, a

experiência cognitiva exige também modificações significativas na estrutura cognitiva por meio da interação com o novo material, de forma que os conceitos mais relevantes e inclusivos funcionem como ancoradouro para o novo material, mas também se modifiquem em função dessa ancoragem (Moreira e Masini, 1982).

Os significados iniciais são ancorados por conceitos específicos inerentes a cada indivíduo de forma que uma nova aprendizagem se dará por meio da interação entre esses significados e os conceitos anteriormente adquiridos pelo indivíduo, permitindo a obtenção de novas relações de significados. Nesse processo a nova informação ancora-se em conceitos relevantes existentes que Ausubel define como conceitos subsunçores, presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo esta última concebida como “uma estrutura organizada de conceitos que são abstrações da experiência do indivíduo” (Moreira e Masini, 1982, p. 8).

Os mapas conceituais aparecem como um instrumento didático valioso para auxiliar estudantes e professores a refletirem a respeito da estrutura e do processo de construção do conhecimento. Para Novak e Gowin (1999), a melhor teoria de aprendizagem que enfoca os conceitos e a aprendizagem proposicional é a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O conceito principal da teoria de Ausubel é de que o sujeito, para aprender significativamente, deve relacionar os novos conhecimentos com as proposições e conceitos relevantes que já possui. As estratégias de uso dos mapas conceituais objetivam apoiar abordagens de instrução que implementem uma Aprendizagem Significativa.

Segundo Novak e Gowin (1999), os mapas conceituais foram usados com sucesso por estudantes do primeiro nível de ensino básico, afastando assim a preocupação de que crianças não consigam construir mapas relacionados a sua aprendizagem.

Os mapas conceituais são recursos que possibilitam a representação de um conjunto de significados conceituais numa estrutura de proposições. A maior parte do significado dos conceitos é aprendida por meio de proposições que incluem o conceito a ser aprendido. Partindo do pressuposto de que a Aprendizagem Significativa se dê mais facilmente quando os novos conceitos ou significados conceituais são englobados por outros mais amplos e inclusivos, os Mapas Conceituais devem apresentar uma estrutura hierárquica, em que os conceitos mais gerais e inclusivos devem ficar no topo do mapa, e os conceitos mais específicos sucessivamente abaixo deles (Novak e Gowin, 1999). No processo de elaboração dos mapas podemos desenvolver novas relações entre os conceitos e, conseqüentemente, novos significados que não considerávamos anteriormente, portanto, a elaboração de Mapas Conceituais é uma atividade criativa.

O estudo da História da Ciência nos mostra que a construção do conhecimento científico é um processo contínuo de progressividade, mesmo que ocorram alguns cortes nesse processo, e não podemos considerar esses conhecimentos como definitivamente estabelecidos, mas que são constantemente modificados pelas novas criações, inovações e descobertas. Piaget e Garcia (1989) argumentam que um conhecimento não pode ser dissociado de seu contexto histórico e que a história de uma

noção provê alguma indicação de sua significação epistêmica. Em alguns casos, como nas noções pré-científicas, é possível estabelecer uma correspondência entre as fases do desenvolvimento histórico e as etapas da psicogênese no que se refere aos conteúdos das noções sucessivas. Mas seria problemático estabelecer uma generalização em relação aos conteúdos das teorias propriamente científicas. Entretanto, o paralelismo entre a psicogênese e a História da Ciência refere-se, não ao conteúdo das noções, mas sim aos instrumentos e mecanismos comuns em sua construção. Assim, os autores estabelecem que o objetivo central dos estudos a respeito do paralelismo entre esses dois campos é “mostrar que os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte são análogos aos de passagem de um estágio psicogenético ao seguinte” (Piaget e García, 1989, p.33).

Além dessas considerações, o uso da aplicação didática da História da Ciência vem sendo amplamente discutido. Segundo Peduzzi (2001), pesquisas que implementem a utilização de materiais históricos de qualidade em sala de aula poderão contribuir para:

- a) propiciar uma aprendizagem de Ciências mais significativa, aproveitando as concepções alternativas dos alunos;
- b) contribuir para a compreensão do aluno de que o pensamento científico evolui com o tempo, portanto as teorias científicas são fonte de constantes revisões;
- c) proporcionar uma metodologia diferenciada para o ensino de Ciências;
- d) relacionar o desenvolvimento científico com os avanços tecnológicos da sociedade, seus benefícios e seus problemas, contribuindo para a formação crítica do aluno.

Utilizar a História e a Filosofia da Ciência não parece ser uma tarefa fácil. As dificuldades existentes vão desde a escassez de pesquisas, notadamente as relacionadas às séries iniciais do Ensino Fundamental, até aos conteúdos programáticos da disciplina de Ciências desse nível de ensino que são muito amplos, o que contribuiu para um ensino tradicional meramente transmissor de conteúdo. Essas perspectivas salientam a necessidade de desenvolver pesquisas para a superação desses obstáculos, como essa que apresentamos, fundamentadas num processo de ensino e de aprendizagem que objetive a construção do conhecimento pelo aluno por meio de currículos flexíveis que respeitem o seu desenvolvimento cognitivo.

Para Batista (2004), a abordagem histórico-filosófica permite a reconstrução da problemática envolvida no desenvolvimento de um conceito científico, os desafios conceituais ou empíricos que foram ultrapassados até a elaboração conceitual que temos hoje. A autora considera que uma abordagem histórico-filosófica contribui para a compreensão do porquê uma proposição é estabelecida como conhecimento, estimulando o aluno a pensar de maneira integrada e crítica, com uma visão ampliada e consistente da atividade científica:

“a abordagem histórico-filosófica funciona como um fio condutor dos raciocínios, como um elemento na estrutura didática que favorece a cognoscibilidade dos conteúdos, que justifica racionalmente a

coordenação didática desses, estabelecendo-se no próprio corpo integrado das estruturas de ensino e, como pretendemos, de aprendizagem" (Batista, 2004, p. 474).

Outra preocupação consiste na necessidade de se fazer uma adequação didática, com uso de uma linguagem apropriada e acessível para atender as especificidades das séries iniciais do Ensino Fundamental. As atividades precisam ser bem formuladas, com exemplificações que respeitem o desenvolvimento cognitivo das crianças. Não se pretende, nesse nível de ensino, que as crianças alcancem abstrações matemáticas a respeito de conceitos científicos, mas que elas comecem a perceber quais questões estão envolvidas na conceituação científica, no processo do raciocínio científico, e nas soluções que a Ciência obteve para atingirmos o nível de desenvolvimento científico que temos hoje.

Em nossa investigação, e isso é importante de salientar, a análise histórica da seqüência do desenvolvimento de um conceito é geradora de elementos epistemológicos que são aproveitados na elaboração de uma seqüência didática de atividades. Nessa análise, buscamos observar os conhecimentos que foram necessários para a humanidade progredir no entendimento de um conceito ou noção. No nosso exemplar, o entendimento do fenômeno Arco-Íris, a reconstrução histórica nos permitiu observar e analisar como tal conhecimento foi sendo elaborado, de forma que uma nova compreensão estivesse epistemologicamente integrada com conhecimentos anteriores. Por meio desse processo, identificamos alguns pressupostos conceituais necessários ao desenvolvimento da explicação do Arco-Íris, como a necessidade de luz e água e a relação entre as posições do Sol e do observador, estabelecida por Aristóteles; a quantidade de cores observadas em cada época (a sistematização das sete cores só veio com Newton); os estudos da reflexão óptica necessários ao desenvolvimento do fenômeno; o entendimento da refração como elemento também necessário para a formação do Arco-Íris, introduzida por Robert Grosseteste; o papel das gotas individuais na formação do fenômeno, iniciado por Roger Bacon e sistematizado por Teodorico de Freiberg; e a composição da luz branca pela soma das cores espectrais demonstrada por Newton.

A articulação entre os referenciais teóricos investigados permitiu-nos identificar alguns pressupostos que fundamentam e orientam a construção de uma abordagem histórico-pedagógica conforme desenvolvemos, que pode ser adaptada, mediante as adequações pertinentes, para outros conceitos científicos desenvolvidos nas séries iniciais do Ensino Fundamental, seguindo os seguintes passos:

Reconstruir episódios históricos que colaboram epistemologicamente para a explicação de um conceito (uma explicação científica, uma teoria, dentre outros), identificando, ao longo da história da ciência, os principais problemas envolvidos em sua explicitação e aprimoramento.

Identificar, nesses episódios, os que possibilitam uma adequação experimental que atenda à fase de desenvolvimento cognitivo do aluno.

Propor uma seqüência epistemológica, por meio de atividades predominantemente empíricas, para proporcionar situações de aprendizagem de conteúdos de Ciências.

Fazer um levantamento das concepções prévias dos alunos em busca de *subsunçores* que colaborem para a estruturação das atividades didáticas (em nossa pesquisa usamos como instrumento os Mapas Conceituais).

Estruturar atividades empíricas em uma seqüência que apresente uma graduação de dificuldades e que permita que uma nova informação seja ancorada pelo conhecimento que o aluno já possui, possibilitando a diferenciação progressiva dos conceitos. Atividades que relacionem o que está sendo aprendido com o cotidiano do aluno também são necessárias, pois auxiliam na reconciliação integrativa entre os conceitos, influenciando a visão do mundo que ele possui.

Seqüência das atividades pedagógicas

As elaborações de mapas conceituais individuais pelos alunos foram a primeira e a última atividades realizadas, uma vez que utilizamos as análises desses mapas para a avaliação do processo de aprendizagem do aluno e da efetividade do sucesso da abordagem como um todo. Assim, buscamos as concepções prévias dos alunos nos primeiros mapas (denominada Conjunto I) e a análise do avanço cognitivo apresentado por eles no segundo mapa elaborado (denominada Conjunto II).

É importante esclarecermos que os alunos não tinham tido atividades de elaboração de Mapas Conceituais antes da investigação. Então foi necessário que, num momento anterior ao da seqüência de atividades, os alunos fossem iniciados na elaboração de Mapas Conceituais. Esse processo foi gradativo, levando aproximadamente um mês, em que eles tiveram a oportunidade de elaborar, sob a orientação de uma das investigadoras, diversos mapas referentes a muitos assuntos de suas aulas, como preparação necessária para a posterior elaboração dos mapas necessários à pesquisa. Os alunos foram iniciados seguindo algumas das estratégias para a introdução de Mapas Conceituais feitas por Novak e Gowin (1999). Como a pesquisa foi realizada com crianças na faixa etária de 9 a 11 anos, fizemos a opção pela elaboração de mapas mais simples, que possibilitassem às crianças a autonomia para a elaboração dos mapas. Segundo Moreira e Rosa (1986), não existem regras fixas para o traçado de Mapas Conceituais, o importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar os significados e as relações entre eles, como também os conceitos mais importantes e os mais específicos.

Para a análise dos mapas, recorreremos também às sugestões ou critérios apontados por Novak e Gowin (1999) que são: as relações de significados entre conceitos indicados pelas ligações; a presença de níveis de hierarquizações que evidenciam os conceitos mais específicos subordinados aos mais gerais; as ligações cruzadas e criativas entre os conceitos e os exemplos utilizados pelos alunos. Salientamos que nossa análise foi de caráter qualitativo, em que procuramos agrupar os mapas feitos pelas crianças de acordo com características em comum.

A segunda atividade foi a formação do Arco-Íris utilizando um esguicho de água. A pertinência dessa atividade se dá pelo fato de que os pensadores antigos observavam a formação desse fenômeno em suas condições naturais. Como não podíamos prever a formação de um Arco-Íris naturalmente, recorreremos a essa atividade, em que os aspectos centrais

das condições naturais de formação do fenômeno foram reproduzidas e os alunos puderam observar “as cores da luz do Sol” e estabelecer a relação entre as posições do Sol e do observador.

Na terceira atividade, abordamos as propriedades da luz de atravessar ou não alguns materiais, principalmente o vidro e a água, uma vez que muitos pensadores já observavam e se preocupavam com essas propriedades da luz em lentes, vidros, e superfícies refletoras. É então necessário, para que o aluno compreenda as atividades seguintes, a observação do comportamento da luz ao passar ou não por um objeto, principalmente na água e no vidro.

O experimento histórico da decomposição da luz branca ao passar por um prisma de vidro constitui a nossa quarta atividade. Essa atividade, além do seu caráter histórico indiscutível, levanta algumas questões importantes como, por exemplo, a necessidade da passagem da luz branca de um meio para outro (vidro e água) para a sua dispersão, a seqüência em que as cores aparecem e o formato do espectro (circular na gota d’água e alongado no prisma).

A reprodução do experimento histórico da simulação da “grande gota d’água”, realizado na quinta atividade, tem o objetivo de tornar a observação do fenômeno do Arco-Íris controlada pelos sujeitos. Esse experimento foi usado por pensadores como Teodorico de Freiberg e Descartes. Nessa atividade, a criança pode observar a decomposição da luz branca ao passar pela água, associar a reflexão da luz com a posição do observador estudada anteriormente e perceber o papel das gotas individuais para a formação do fenômeno.

A sexta atividade é uma alusão ao experimento de Newton da composição da luz branca pela adição das demais cores. Entretanto, como o experimento realizado por Newton é muito complexo e não se enquadrava nas condições estabelecidas, optamos por uma construção simples e já bastante difundida: a soma das cores primárias da luz (verde, azul e vermelha) para a formação das cores secundárias e da luz branca. Outro aspecto relevante foi a observação das cores de alguns objetos quando expostos a uma cor de luz.

Ressaltamos que, com exceção dos mapas conceituais, as demais atividades foram desenvolvidas seguindo os níveis de ação e reflexão (Carvalho *et al*, 1998) já citados anteriormente.

Apresentação da abordagem e dos resultados empíricos da pesquisa

A aplicação da abordagem foi realizada em quatro turmas regulares de quarta série do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Londrina, no ano de 2006, totalizando 124 alunos. Inicialmente realizamos um levantamento das concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno Arco-Íris por meio da elaboração de Mapas Conceituais. Na etapa seguinte, os alunos participaram da seqüência de atividades desenvolvidas nessa abordagem, como já citado anteriormente; depois de cada atividade prática, os alunos preenchem um relatório simples a respeito da experiência que realizaram e, finalmente, após todas as atividades, elaboraram outro Mapa Conceitual

desse fenômeno, para que pudéssemos analisar o avanço apresentado pelos estudantes.

1ª Atividade: Construção de mapas conceituais (Conjunto I).

A análise desses mapas, como já fundamentamos, foi realizada considerando dois aspectos importantes: as concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno Arco-Íris e a organização dessas informações nos Mapas Conceituais, como as ligações válidas, os níveis de hierarquia e as ligações transversais, que indicam a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos significados dos conceitos apresentados (NOVAK & GOWIN, 1999). Os mapas conceituais construídos pelos alunos nessa etapa apresentaram poucas informações científicas para o fenômeno do Arco-Íris. Todos os alunos citaram as cores do Arco-Íris, no entanto, eles não colocavam todas as cores padrão corretamente, ou colocavam somente algumas. Outro aspecto mencionado foi a necessidade do Sol após a chuva para a aparição do Arco-Íris. O formato de arco foi lembrado em pouquíssimos mapas. As demais informações levantadas constituíam-se de sentimentos de admiração em relação à beleza do Arco-Íris, da citação de lendas como a do pote de ouro no final do Arco-Íris, e de crença religiosa, da aliança feita entre Deus e os homens após o dilúvio bíblico.

Em relação à estrutura dos mapas, em síntese, nossa análise constatou que a maioria dos alunos apresentou algum tipo de relação válida e ao menos um nível de hierarquização. Entretanto, ressaltamos que essas condições foram observadas normalmente em relação às cores do Arco-Íris e, algumas vezes, em relação a outros conceitos. Mostraremos, pois, alguns exemplares selecionados da nossa amostra que demonstram a nossa classificação.

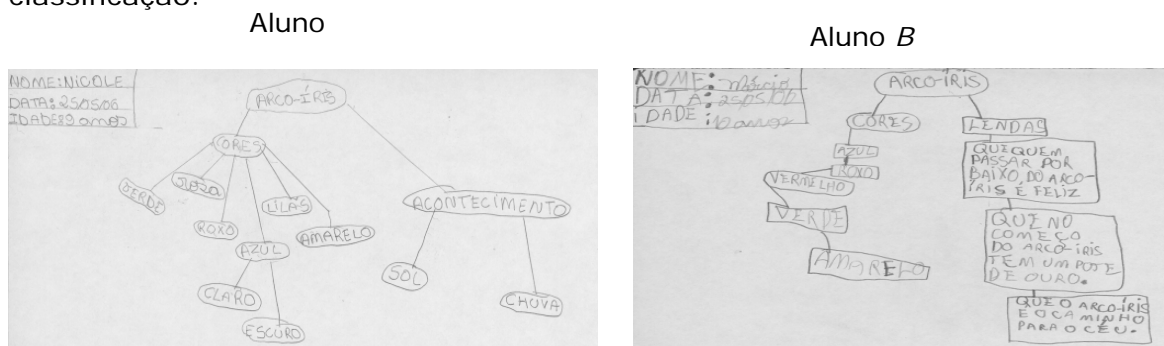


Figura 1.- Mapas conceituais a respeito do arco-íris, antes da seqüência de atividades, construídos pelos alunos A e B de 4ª série do Ensino Fundamental.

No mapa do Aluno A, percebemos a presença das cores do Arco-Íris e da necessidade do Sol e da chuva para ocorrer um Arco-Íris. Notamos também que o aluno utilizou níveis e relações válidas na apresentação de ambos os conceitos. Na nossa análise, encontramos 32% da totalidade dos alunos que elaboraram um mapa semelhante a este, ou seja, bem estruturado, contendo algumas cores (embora nem sempre citadas corretamente segundo o padrão científico), e noções precursoras de conceituação científica como a presença do Sol e da Chuva e o formato do arco em dois eixos de diferenciação progressiva.

O mapa do Aluno B demonstra somente a relação entre o Arco-Íris e as cores que o compõe, embora o aluno não tenha citado todas as cores, e algumas lendas que fazem parte da credence popular. Note que, apesar de ser um mapa simples, o aluno apresentou bem os conceitos abordados (cores e lendas), realizou algumas relações válidas e citou exemplos das lendas conhecidas. Encontramos 28% de mapas construídos com essas características: as noções organizadas, a presença do conceito de cor; entretanto, em outros mapas as noções foram relativas a lendas, crenças religiosas e sentimentos de admiração, como "lindo", "maravilhoso", "colorido", entre outros.

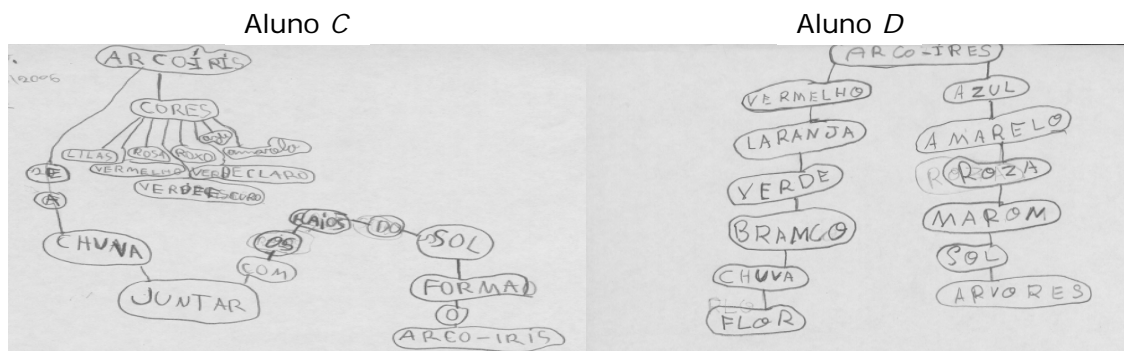


Figura 2.- Mapas conceituais a respeito do arco-íris, antes da seqüência de atividades, construídos pelos alunos C e D da 4ª série do Ensino Fundamental.

O aluno C da figura 2 abordou dois conceitos para o arco-íris, um a respeito das cores e o outro dos raios de Sol incidindo na chuva para a formação desse arco. Apesar da informação ser clara, o aluno não conseguiu estruturá-la do mesmo modo que o fez com as cores. Vinte por cento dos alunos elaboraram mapas aproximados a este, com o conceito de cor bem estruturado, mas com as demais noções apresentadas em forma de frase como do exemplo, ou apenas uma listagem de palavras sem ligações válidas entre os conceitos.

O mapa construído pelo aluno D da figura 2, embora contenha algumas informações como as cores, o Sol e a chuva, constitui uma cadeia (ou listagem) de palavras a respeito do Arco-Íris. O mapa não apresenta uma estruturação entre conceitos nem ligações válidas. Encontramos 20% dos mapas elaborados como listagem de palavras, o que nos leva a pensar que esses alunos ainda precisam avançar um pouco mais na elaboração de mapas conceituais.

2ª Atividade: Produzir um arco-íris esguichando água com uma mangueira.

Esta é uma atividade experimental simples e do conhecimento cotidiano dos alunos. O problema proposto para os alunos consiste em produzir um arco-íris em um local aberto que receba a luz do Sol utilizando um esguicho de mangueira. Vimos que os primeiros pensadores, após muitas observações, concluíram que há uma relação entre as posições do Sol e do observador para observação do arco-íris (Aristóteles), ou seja, o Sol deve estar oposto ao Arco-Íris com o observador entre eles. Essa questão é relevante porque esclarece uma das condições necessárias para a sua observação.



Figura 3.- Desenho e texto de alunos da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris.

Tanto no desenho como no relato escrito, observamos que os alunos aproveitaram bem a atividade, percebendo o posicionamento correto para a apreciação do fenômeno e também algumas cores que o compõe, além da necessidade do Sol e da água para formar o arco-íris.

3ª Atividade: Classificar materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz.

De posse de uma variedade de materiais como espelhos, lentes e vidros, e uma fonte de luz, o objetivo é observar e classificar quais materiais permitem que a luz passe e quais “devolvem” a luz. Essa atividade é o importante momento em que os alunos têm em contato com as idéias iniciais de refração e reflexão da luz, necessários à compreensão do Arco-Íris e da formação das cores.

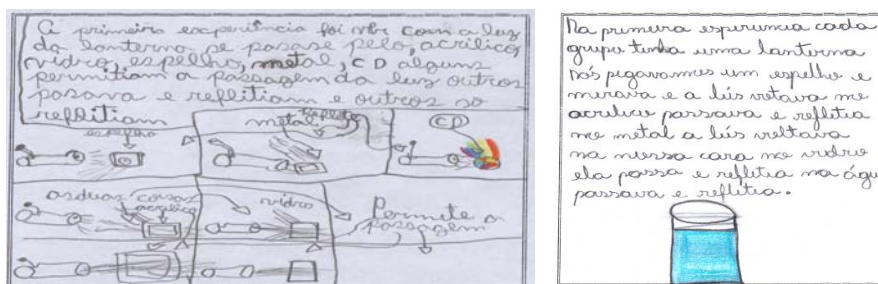


Figura 3.- Relato (desenho e texto) de aluno de 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação de materiais.

Nesses relatos (figura 3), o aluno descreve como foi feita a atividade e as observações realizadas, como a reflexão e a refração da luz ao incidir sobre os materiais: no espelho, a luz da lanterna “voltava”; no acrílico, a luz “passava” e refletia; no metal, a luz “voltava” e atingia a face dos alunos, no vidro e na água, a luz também “passava” e refletia.

4ª Atividade: Decomposição da luz ao passar por um prisma.

Essa atividade também é a reprodução de um experimento histórico muito utilizado para a observação das cores. Como já esclarecemos anteriormente, Newton recorreu a este conhecido experimento para estudar a decomposição das cores da luz e a composição da luz branca.

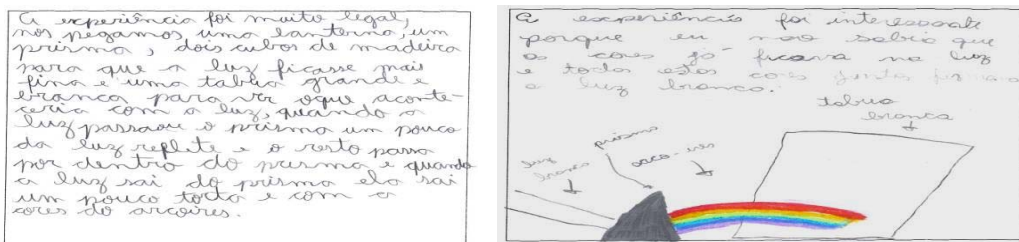


Figura 4.- Textos e desenhos de alunos da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar por um prisma.

Nesses relatos, os alunos descreveram os materiais utilizados para a realização do experimento e o objetivo da atividade. Observe a descrição que o aluno da esquerda faz a respeito do comportamento da luz ao atravessar o prisma. O outro aluno, da direita, salienta a compreensão de que a luz branca é formada pelas outras cores da luz.

5ª Atividade: A grande “gota d’água”.

Os alunos receberam uma esfera de vidro cheia de água, simulando uma gota d’água ampliada, para obter e observar a formação de um arco-íris. Com os conhecimentos das atividades anteriores, que a água (e, no caso, o vidro também) é um material que permite a passagem da luz e também reflete a luz, os alunos podem observar a entrada da luz na “gota d’água” e a formação do espectro colorido na direção oposta à entrada da luz, ou seja, deve ocorrer uma reflexão ali. A decomposição da luz branca em luzes coloridas já foi observada e discutida na atividade anterior, mas deve ser novamente reforçada.

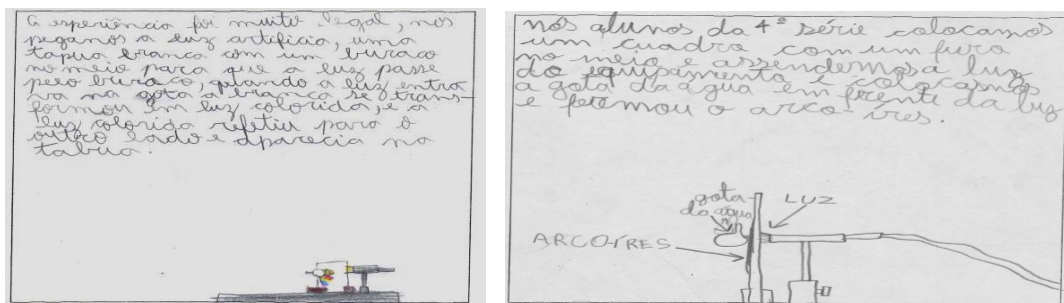


Figura 5.- Textos e desenhos de alunos da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da “grande gota d’água”.

Nos relatos (figura 5), percebemos a satisfação e o empenho em realizar a atividade, representada pelos desenhos que esses alunos fizeram da atividade, mostrando o posicionamento dos materiais, a luz branca passando pelo buraco no anteparo e atingindo a gota d’água e o espectro colorido saindo da gota no mesmo lado em que a luz branca entrou. A descrição da atividade também é muito interessante: a luz artificial passando pelo buraco no anteparo branco; a luz branca “transformando-se” em luz colorida quando entrou na gota d’água; a reflexão da luz e o surgimento do arco-íris no anteparo.

6ª Atividade: Soma das luzes coloridas.

Essa atividade possibilita ao aluno a compreensão das cores primárias da luz (vermelha, verde e azul), das cores secundárias formadas a partir da soma das cores primárias e a luz branca como resultado da composição de todas as cores. Também analisa a cor de um objeto ao ser iluminado por uma determinada cor de luz. O objetivo da análise da cor do objeto é perceber que ele apresenta determinada cor quando iluminado por uma luz monocromática ou quando iluminado pela luz branca (natural ou artificial), pois a luz branca é composta por todas as cores.

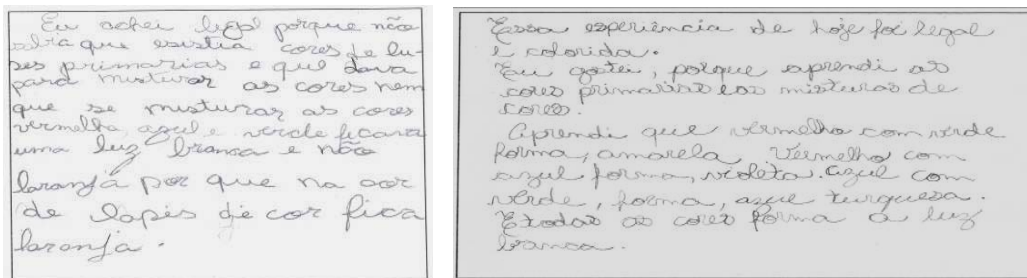


Figura 6.- Textos de alunos da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz.

Nestes relatos (figura 6), observamos que os alunos manifestam satisfação em aprender coisas que não sabiam, como as cores primárias da luz e as misturas das luzes coloridas formando outras cores e o branco. Um fato importante que o aluno salientou é a diferença da composição de cores entre as misturas de luz e de pigmentos (lápis de cor).

7ª Atividade: Construção de mapas conceituais (Conjunto II).

Depois de realizadas todas as atividades experimentais, solicitamos aos alunos, em uma aula específica, que construíssem novamente um Mapa Conceitual a respeito do fenômeno do arco-íris. Nosso objetivo foi analisar os avanços ocorridos na estruturação desse conceito pelos alunos após vivenciarem a seqüência das atividades de ensino. Essa análise possibilitou avaliar se houve ou não Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados ao fenômeno de acordo com a Seqüência Histórica investigada. Os mapas construídos nessa fase apresentaram um significativo avanço em relação aos realizados anteriormente (Conjunto I), tanto nos aspectos conceituais quanto na estrutura apresentada.

Ao compararmos os mapas do Conjunto I aos do Conjunto II, os avanços significativos nos conceitos abordados puderam ser identificados na explicitação da relação entre as posições do Sol e do observador, na enumeração das cores que compõe o Arco-Íris, a decomposição da luz branca, as cores primárias da luz, a luz branca formada pela soma das luzes coloridas, a formação das cores secundárias e o formato do arco. Quanto à estrutura apresentada nos mapas, percebemos também um progresso na organização dos conceitos, nos níveis hierárquicos e nas ligações válidas, bem como um início de reconciliação integrativa.

Nos exemplares de mapas conceituais a seguir, apresentamos uma análise dos mapas do Conjunto II juntamente com o avanço apresentado pelo aluno, comparando-os com os mapas do Conjunto I. Essa análise está

organizada em quatro categorias, conforme e os critérios sugeridos por Novak e Gowin (1999), já referidos anteriormente nesse trabalho.

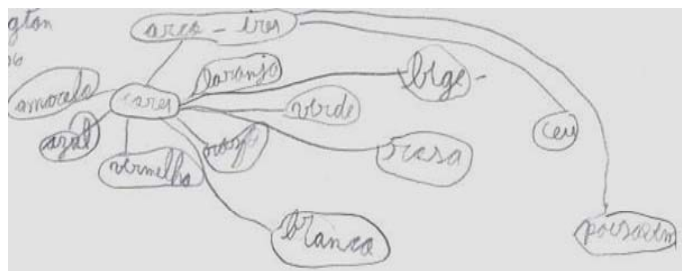


Figura 7.- Mapa conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído por aluno E da 4ª série do Ensino Fundamental.

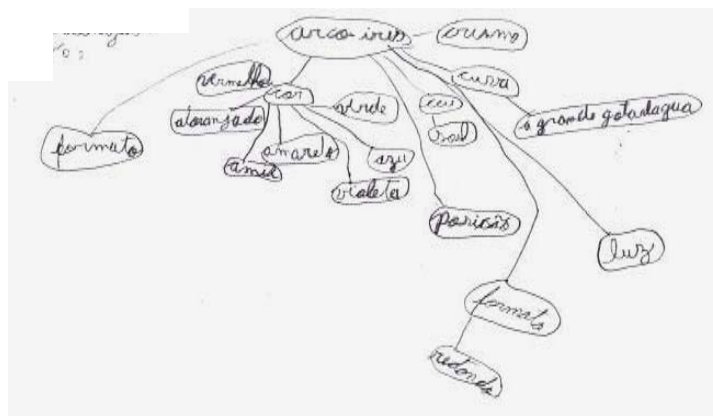


Figura 8.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, após a seqüência de atividades, construído por aluno E da 4ª série do Ensino Fundamental.

Vemos que no mapa da figura 8, o aluno E organizou o conceito de cor, com dois níveis hierárquicos e ligações válidas entre o conceito e as cores que compõe o Arco-Íris. Em outras informações, ele apresentou algumas ligações válidas, como no formato "redondo" do Arco-Íris. Entretanto, alguns conceitos foram apenas citados, sem uma organização adequada. Observando o primeiro mapa elaborado por este mesmo aluno (figura 7), notamos que ele agregou algumas informações novas, mas ainda precisa avançar na organização das informações. Selecionamos aproximadamente 20% (os percentuais apresentados doravante foram obtidos pelo cálculo da frequência relativa) de mapas com estas características, ou seja, com o conceito de cores bem organizado e algumas informações novas que não apresentaram uma organização adequada.

O mapa da figura 10 apresenta quase todos os conceitos desenvolvidos durante as atividades. As informações estão claras, hierarquizadas em mais de um nível e as ligações são válidas, demonstrando a diferenciação progressiva feita pela criança. Ao observarmos o mapa feito antes das atividades (Figura 9), percebemos que a criança já apresentava uma boa organização, entretanto, a quantidade de conceitos científicos apresentados após as atividades aumentou consideravelmente. Em nossa análise, encontramos aproximadamente 52% de mapas com essas características.

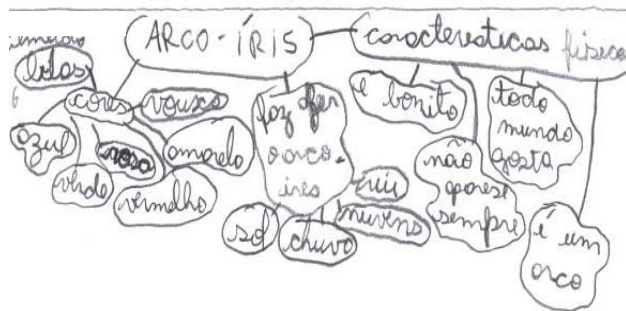


Figura 9.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, antes da seqüência de atividades, construído por aluno F da 4ª série do Ensino Fundamental

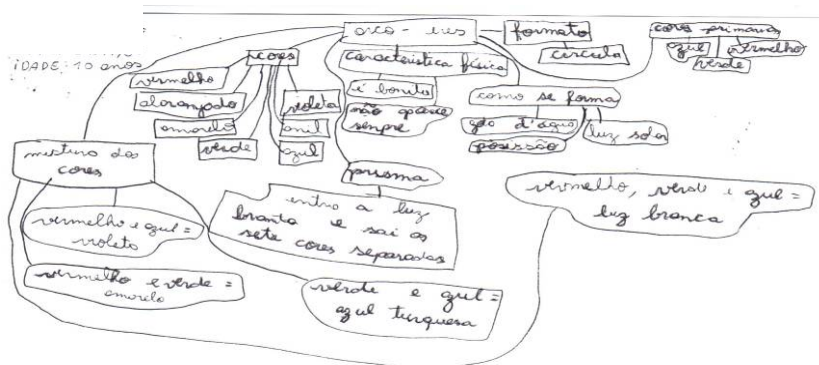


Figura 10.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, após a seqüência de atividades, construído por aluno F da 4ª série do Ensino Fundamental.

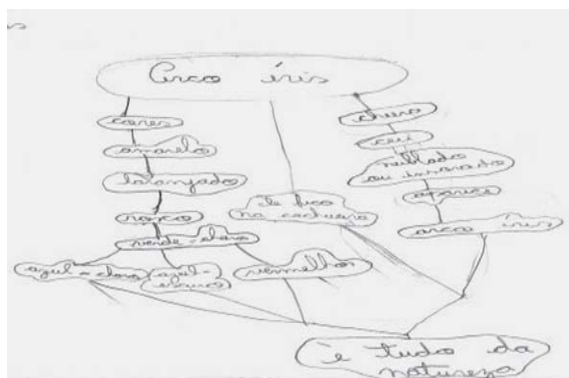


Figura 11.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, antes da seqüência de atividades, construído por aluno G da 4ª série do Ensino Fundamental.

Na elaboração do mapa da figura 12, percebemos que o estudante abordou a maioria dos conceitos estudados nas atividades, demonstrou uma estrutura adequada, com níveis de organização e ligações válidas entre os conceitos, como na diferenciação progressiva dos elementos necessários para formar o Arco-Íris (água, luz solar e posição do observador de costas para o Sol). Neste mapa, o estudante também realizou ligações cruzadas, como nas cores que se formam com a passagem da luz no prisma e na gota d'água que são as mesmas que aparecem no Arco-Íris e o formato circular relacionado com a gota d'água. No primeiro mapa que o estudante construiu (Figura 11), identificamos informações confusas e sem ligações válidas entre elas. Vinte e dois por cento (22%) dos mapas apresentaram essas características: níveis de hierarquização e ligações válidas indicando a

diferenciação progressiva e ligações cruzadas e criativas entre conceitos indicando reconciliação integrativa.



Figura 12.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, após a sequência de atividades, construído por aluno G da 4ª série do Ensino Fundamental.

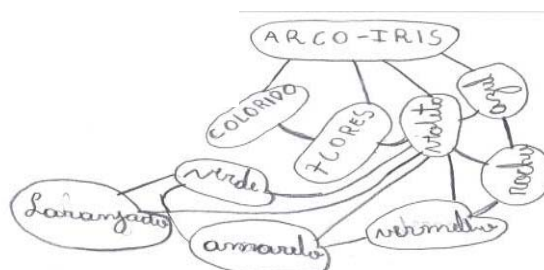


Figura 13.- Mapa conceitual a respeito do arco-íris, antes da sequência de atividades, construído por aluno H da 4ª série do Ensino Fundamental.

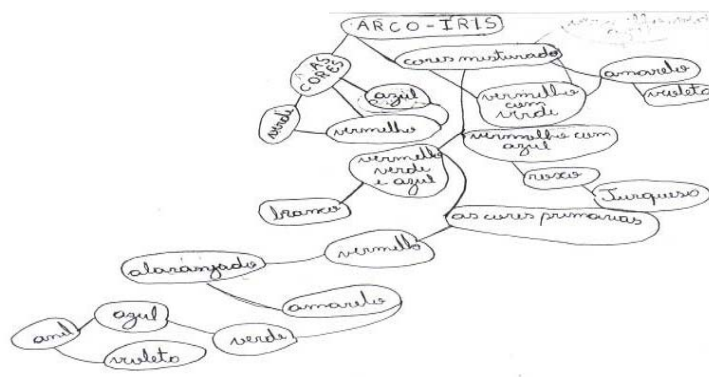


Figura 14.- Mapa Conceitual a respeito do arco-íris, após a sequência de atividades, construído por aluno H da 4ª série do Ensino Fundamental

No mapa da figura 14, observamos que o aluno abordou somente os conceitos de cores, cores primárias e mistura de cores. Entretanto esses conceitos não aparecem organizados, com níveis de hierarquização definidos e ligações válidas entre os conceitos. Essa construção não caracteriza um Mapa Conceitual. Se compararmos com o mapa anterior (Figura 13), percebemos que o aluno agregou algumas informações, como as cores primárias, mas não conseguiu estruturar essa nova informação. Encontramos, em nossa análise, apenas 6% de mapas que não apresentaram evolução após a sequência de atividades.

Considerações finais

Após a análise dos resultados obtidos da nossa investigação, bem como do processo envolvido na construção da abordagem histórico-pedagógica no Ensino de Ciências para as séries iniciais do Ensino Fundamental, consideramos que a criação dessa seqüência de atividades empíricas e reflexivas para a compreensão da Física envolvida no fenômeno do Arco-Íris mostrou-se pertinente, envolvendo vários aspectos teórico-metodológicos e de conteúdo da Física. A inovação metodológica por nós apresentada reitera a interface entre os referenciais da Alfabetização Científica, das contribuições da História da Ciência para o ensino de Ciências e da busca por uma Aprendizagem Significativa que respeite a construção do conhecimento pelo aluno.

A estrutura das atividades obedece às pesquisas a respeito da construção de conhecimento físico por crianças, como já discutidas anteriormente. A necessidade da *ação sobre os objetos* é satisfeita, uma vez que recorremos a atividades experimentais, que auxiliam o aluno na ação e na reflexão a respeito do que está sendo observado. Os elementos histórico-epistemológicos analisados e escolhidos dos exemplares foram incorporados na estruturação das atividades, de forma que a seqüência Histórica do Arco-Íris contribuisse para a compreensão dos conceitos.

Embora ele seja predominantemente físico, o estudo do Arco-Íris apresenta outras potencialidades de ligação interdisciplinar, como por exemplo, com a Biologia e as Artes, de forma que essa seqüência pode ser aproveitada para outros conceitos, não sendo particular desse fenômeno. Para tanto, é importante que os referenciais apresentados como pressupostos em nossa abordagem sejam sempre respeitados. Assim, argumentamos que atingimos os resultados necessários de articulação, integração e adequação dos exemplares históricos com os referenciais de psico-aprendizagem e didática das Ciências, como demonstrado pela elaboração dos mapas conceituais realizadas pelos alunos.

Referências bibliográficas

- Ausubel, D., Novak, J. e H. Hanesian (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Batista, I.L. (2004). O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. *Ciência & Educação*, Bauru, 10, 3, 461-476.
- Battisti, C.A. (2002). *O método de análise em Descartes: da resolução de problemas à constituição do sistema do conhecimento*. Cascavel: Edunioeste.
- Boyer, C.B. (1959). *The rainbow: from myth to mathematics*. New York: Thomas Yoseloff.
- Boyer, C.B. (1956). Refraction and the rainbow in antiquity. *Isis*, Chicago, 47, 4, 383-386.
- Boyer, C.B. (1954). Robert Grosseteste on the rainbow. *Osiris*, Chicago, 11, 247-258.

- Carvalho, A.M., Vannucchi, A.I., Barros, M.A., Gonçalves, M.E. e R.C. Rey (1998). *Ciência no ensino fundamental: o conhecimento físico*. São Paulo: Scipione.
- Descartes, R. (1996). *Oeuvres de Descartes*. Vol. 11. Paris: Vrin.
- Kamii, C. e R. Devries (1985). *O conhecimento físico na educação pré-escolar: implicações da teoria de Piaget*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- Lindberg, D.C. (1966). Roger Bacon's theory of the rainbow: progress or regress? *Isis*, Chicago, 57, 2, 235-248.
- Moreira, M.A. e E.F.S. Masini (1982). *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes.
- Moreira, M.A. e P. Rosa (1986). Mapas Conceituais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, 3, 1, 17-25.
- Newton, I. (1996). Nova Teoria sobre Luz e Cores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, 18, 4, 313- 327.
- Newton, I. (2002). *Óptica*. São Paulo: EDUSP.
- Novak, J. e D. Gowin (1999). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Ockenden, R.E. (1936). Marco Antonio de Dominis and his explanation of the rainbow. *Isis*, Chicago, 26, 1, 40-49.
- Peduzzi, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. (2001). Em M. Pietrocola (Ed.). *Ensino de física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (pp. 151-170). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Piaget, J. e R. García (1989). *Psicogénesis e história de la ciencia*. México: Siglo Veintiuno Editores.
- Sayili, A.M. (1940). Al Qarafi and his explanation of the rainbow. *Isis*, Chicago, 32, 1, 16-26.