

UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NAS SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL

THE HISTORICAL-PEDAGOGIC APPROACH FOR THE SCIENCE TEACHING IN THE ELEMENTARY SCHOOL

Eliane Maria de Oliveira Araman¹
Irinéa de Lourdes Batista²

¹UEL/Programa em Ensino de Ciências e Educação Matemática, em_araman@yahoo.com.br

²UEL/Departamento de Física, irinea@uel.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 a aplicação da abordagem histórico-pedagógica para as séries iniciais do Ensino Fundamental. O exemplar fenomenológico de interesse 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 propiciem a Alfabetização Científica aos estudantes das séries iniciais do Ensino Fundamental.

Palavras-chave: História da Ciência, Aprendizagem Significativa, Alfabetização Científica, Séries Iniciais, Arco-Íris

Abstract

This work presents the result of an investigation about the application of Science History for the learning of physical concepts on elementary school, on the perspective of Significant Learning. Along with necessary adequacies to attend people on the age of our investigation, we've elaborated an articulation between theoretic references that support the application of historical-pedagogic study on elementary school. The phenomenologic unit of interest chosen for this study was Rainbow, which stimulated a rich and adequate historical-epistemologic 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, Significant Learning, Scientific Literacy, Elementary School, Rainbow

INTRODUÇÃO

Apresentamos, neste trabalho, uma reconstrução histórica de alguns dos principais episódios históricos que colaboraram para a explicação científica do Arco-Íris. Esses episódios são aproveitados na elaboração da seqüência de atividades desenvolvidas, juntamente com o aporte teórico-metodológico adequado para a faixa etária dos sujeitos da nossa pesquisa. Em

seguida, explicitamos como esses referenciais teóricos e os episódios históricos são articulados para a construção da abordagem histórico-pedagógica para as séries iniciais do Ensino Fundamental. A elaboração de Mapas Conceituais pelos alunos constitui a avaliação da nossa pesquisa e os resultados obtidos são expostos e discutidos.

EPISÓDIOS HISTÓRICOS PARA A EXPLICAÇÃO DO ARCO-ÍRIS

Nessa reconstrução¹, expomos os aspectos históricos mais relevantes da explicação correta do fenômeno Arco-Íris, que dão o suporte histórico e epistemológico para a sequência de atividades desenvolvidas em nossa 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 por aproximadamente dois milênios (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 na superfície de uma nuvem.

Por volta de 650 d.c., Al QARĀFI 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 são 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.

Até o início do século XIII, a teoria do Arco-Íris tinha avançado pouco em relação ao que já se conhecia na época de Aristóteles. 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 (catoptrica) e a refração (dioptrica). Para ele, a refração era o 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 ao 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. 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). Grosseteste 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, 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

¹ Uma reconstrução histórica em detalhes foi apresentada no X EPEF (2006), bem como o detalhamento da inovação teórico-metodológica. Nesta disseminação privilegiamos a corroboração empírica da investigação.

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 qualquer explicação satisfatória do Arco-Íris. 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. Bacon recorreu a seus antecessores, principalmente Aristóteles, para a geometria básica do Arco-Íris. Segundo Bacon (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 ainda demandava atenção era a causa das cores do Arco-Íris, mas Bacon não avançou nesse ponto. Outro aspecto considerado é que dois observadores separados por uma pequena distância não podem ver o mesmo Arco-Íris. 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.

Uma primeira explicação elementar correta para o Arco-Íris foi dada por Teodorico de Freiberg († 1310) aproximadamente por volta do século quatorze, 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.

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:

Antonius de Dominis (1564-1624), 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 identificar esses erros fundamentais, uma vez que ainda é creditado a Dominis, na maioria dos trabalhos de referência, a explicação correta do Arco-Íris primário e do secundário. O que pode ser reivindicado 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 apresentou a explicação inicial correta de ambos os arcos.

No Discurso VIII, do livro *Meteores* (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. 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 o espectro das cores produzido pela luz do Sol ao atravessar esse prisma. A análise das várias possibilidades de caminhos para os raios de luz levou Newton a realizar um 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 apud Silva & Martins, 2003, 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 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, existindo 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. Para demonstrar a origem das cores, Newton faz uma rigorosa demonstração, recorrendo a geometria em uma circunferência simulando a gota de chuva, em que cada grau de refringência exibirá uma cor própria (NEWTON, 2002).

ABORDAGEM HISTÓRICO-PEDAGÓGICA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Um estudo que contemple a aprendizagem de um conceito físico nas séries iniciais do Ensino Fundamental necessita de um aporte teórico-metodológico que atenda as especificidades dessa faixa etária. Sendo assim, nesta etapa do trabalho investigamos o processo de integração de referenciais para construção de atividades que contribuam para uma Aprendizagem Significativa de um conceito físico a partir de uma abordagem histórica 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” (KAMII & 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 empírica. Entretanto, a experiência física não ocorre sozinha, 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. (KAMII & 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. Consideramos que as relações entre as idéias que vão sendo aprimoradas pelas atividades de conhecimento físico podem contribuir para uma Aprendizagem Significativa de um conceito físico.

Com relação à necessidade de ação sobre o objeto, as pesquisas de Kamii & Devries (1985) e de Carvalho *et al* (1998) mostram que os 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;
2. Agir sobre o objeto para obter o efeito desejado;
3. Ter consciência de como produziu o efeito.
4. Explicação das causas. Ao pensar e relatar como resolveram o problema, os alunos começam a perceber a coordenação dos eventos, iniciando a conceituação.

Na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, “aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva” (Moreira & Masini, 1982, p. 4). Esta organização e estruturação ocorrem 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 & 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 (subsunçores) para o novo material, mas também se modifiquem em função dessa ancoragem (Moreira & Masini, 1982).

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. As estratégias de uso dos Mapas Conceituais objetivam apoiar abordagens de instrução que implementem uma Aprendizagem Significativa. Segundo Novak & 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. Eles são recursos que possibilitam a representação de um conjunto de significados conceituais numa estrutura de proposições. 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 & GOWIN, 1999).

O estudo da História da Ciência nos mostra que a construção dos conhecimentos científicos é um processo contínuo de progressividade, mesmo que ocorram alguns cortes nesse processo e não possamos considerar esses conhecimentos como definitivamente estabelecidos, mas que são constantemente modificados por inovações. Piaget & Garcia (1989), argumentam que um conhecimento não pode ser dissociado de seu contexto histórico e que a história de uma noção prevê 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 & GARCÍA, 1989, p.33).

Em nossa investigação, a reconstrução histórica da seqüência do desenvolvimento de um conceito identifica e prevê elementos epistemológicos que são empregados na elaboração da seqüência de atividades. Nessa análise, buscamos observar os conhecimentos que foram necessários para a humanidade progredir no entendimento desse conceito ou noção. No nosso exemplar, o entendimento do Arco-Íris, a reconstrução histórica nos permitiu observar e analisar como esse conhecimento foi sendo elaborado, de forma que a nova descoberta estivesse integrada com conhecimentos anteriores. Ela evidenciou alguns conhecimentos necessários ao desenvolvimento da explicação do Arco-Íris, como a necessidade de luz e água e 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 e da refração (introduzida por Robert Grosseteste) necessários à formação do Arco-Íris; 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 investigados permitiu-nos elaborar alguns pressupostos que fundamentam e orientam a construção da abordagem histórico-pedagógica apresentada nesta pesquisa e que pode ser adaptada, mediante as adequações pertinentes, para outros conceitos científicos desenvolvidos nas séries iniciais do Ensino Fundamental:

- Reconstruir episódios históricos que colaboram epistemologicamente para a explicação de conceitos, identificando os principais problemas epistemológicos envolvidos em seu desenvolvimento.

- 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 *subsunções* que colaborem para a estruturação das atividades (Mapas Conceituais).

- Estruturar atividades empíricas que apresentem uma graduação de dificuldades e permitam que a nova informação seja ancorada pela informação que o aluno 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 em que vive (Alfabetização Científica).

A seqüência de atividades pedagógicas:

As elaborações de Mapas Conceituais 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. Assim, buscamos as concepções prévias dos alunos nos primeiros mapas (Conjunto I) e a análise do progresso cognitivo apresentado por eles no segundo mapa (Conjunto II).

A segunda atividade é 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 as condições naturais de formação do fenômeno são reproduzidas. Nessa atividade, os alunos podem observar as cores 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 de um meio para outro (vidro e água), 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 luz monocromática.

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.

SÍNTESE DE RESULTADOS EMPÍRICOS DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em quatro turmas regulares de quarta série do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Londrina, no ano de 2006. Primeiro 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 e depois de cada atividade prática, os alunos preenchem um relatório simples a respeito da experiência que realizaram e, finalmente, após a seqüência de atividades, elaboraram um outro Mapa Conceitual desse fenômeno, para que pudéssemos analisar o progresso cognitivo apresentado pelos estudantes.

1ª Atividade: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto I)

A análise desses Mapas foi realizada considerando dois aspectos importantes: as concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno Arco-Íris e a organização dessas informações no Mapa Conceitual, 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, p. 123). Os mapas conceituais construídos pelos alunos 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, apesar de citarem que são sete as cores que o compõe. Outro aspecto que foi citado é 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 constituíam-se de sentimentos de admiração em relação à beleza do Arco-Íris, a lendas como a do pote de ouro no final do Arco-Íris, e à crença 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. A seguir, temos alguns exemplares selecionados da nossa amostra que demonstram a nossa classificação (outros serão oferecidos na apresentação deste trabalho).

No mapa abaixo (Figura 1), percebemos a presença das cores do Arco-Íris e da necessidade do Sol e da chuva para ocorrer um Arco-Íris e a utilização de níveis e relações válidos 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 e noções científicas, como a presença do Sol e da Chuva e o formato do arco em dois eixos de diferenciação.



FIGURA 1: Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído por aluno A de 4ª série do Ensino Fundamental



FIGURA 2: Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído por aluno B da 4ª série do Ensino Fundamental.

O mapa da Figura 2 demonstra somente a relação entre o Arco-Íris e cores que o compõe, 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 e diferenciadas, a presença do conceito de cor.

A terceira categoria de mapas 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 deste tipo, com o conceito de cor bem estruturado, mas com as demais noções apresentadas em forma de frase ou apenas uma listagem de palavras sem ligações válidas entre os conceitos.

A quarta categoria de mapas construídos, embora contenham algumas informações como as cores, o Sol e a chuva, constituíram-se em uma cadeia simples (ou listagem) de palavras a respeito do Arco-Íris. Tais mapas não apresentam 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). Essa questão é relevante porque esclarece uma das condições necessárias para a sua observação.

Tanto em desenhos como nos relatos escritos (que serão mostrados na apresentação deste trabalho), observamos que os alunos aproveitaram bem a atividade: perceberam 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 muito importante, pois neste momento estarão em contato com as idéias iniciais de refração e reflexão da luz, necessários à compreensão do Arco-Íris e da formação das cores.

Nos seus relatos, os alunos descrevem 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. Nos seus relatos, os alunos descreveram os materiais utilizados para a realização do experimento e o objetivo da atividade.

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 puderam 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.

Nos relatos dos alunos, 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.

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 o objeto apresenta determinada cor quando iluminado por uma luz de mesma cor ou quando iluminado pela luz branca (natural ou artificial), pois a luz branca é composta por todas as cores.

Nos relatos, observamos que os alunos manifestam intensa satisfação em aprender coisas que não sabiam, como as cores primárias da luz; as misturas das luzes coloridas formando outras cores e o branco (parecendo reviver o mesmo sentimento de Newton). Um fato importante salientado pelos alunos é a diferença 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 dos conceitos pelos alunos após vivenciarem as atividades de ensino. Essa análise possibilitou avaliar se houve ou não Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados ao fenômeno de acordo com a Sequência Histórica investigada. Os mapas construídos nessa fase apresentaram um significativo avanço cognitivo em relação aos realizados anteriormente (Conjunto I), tanto nos aspectos conceituais quanto na estrutura apresentada.

Na primeira categoria de Mapa Conceitual, temos a organização do o conceito de cor, com dois níveis hierárquicos e ligações válidas entre o conceito e as cores que compõe o Arco-Íris. Em algumas outras informações, ele apresentou algumas ligações válidas, como no formato “redondo” do Arco-Íris. Entretanto, outras noções foram apenas citadas, sem uma organização adequada. Selecionamos aproximadamente 20% de mapas com estas características, ou seja, com o conceito de cores bem organizados e algumas informações novas que não apresentaram uma organização adequada.

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 por nós selecionados foram incorporados na estruturação das atividades, de forma que a seqüência Histórica do Arco-Íris contribuísse 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 dessa abordagem sejam sempre respeitados. Nesse sentido, argumentamos que atingimos os resultados necessários de articulação, integração e adequação dos exemplares históricos com os referenciais de psico-aprendizagem e didática das Ciências, tanto do ponto de vista de inovação teórica como o de resultados empíricos demonstrados pela elaboração dos Mapas Conceituais realizadas pelos alunos.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D., NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BATISTA, I. L.; ARAMAN, E. M. Uma proposta do uso da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental. **X Encontro de Pesquisa em Física – EPEF 20 anos**. Londrina, 2006.
- BATTISTI, C. A. **O método de análise em Descartes**: da resolução de problemas à constituição do sistema do conhecimento. Cascavel: Edunioeste, 2002.
- BOYER, C. B. Refraction and the rainbow in antiquity. **Isis**, Chicago, vol. 47, nº 4, p. 383-386, dezembro, 1956.
- BOYER, C. B. Robert Grosseteste on the rainbow. **Osiris**, Chicago, vol. 11, p. 247-258, 1954.
- BOYER, C. B. **The rainbow**: from myth to mathematics. New York: Thomas Yoseloff, 1959.
- CARVALHO, A. M., VANNUCCHI, A. I., BARROS, M. A., GONÇALVES, M. E.; REY, R. C. **Ciência no ensino fundamental**: o conhecimento físico. São Paulo, Scipione, 1998.
- DESCARTES, R. **Oeuvres de Descartes**. Paris: Vrin, 1996. vol. 11. Publiées par Charles Adam e Paul Tannery.
- KAMII, C.; DEVRIES, R. **O conhecimento físico na educação pré-escolar**: implicações da teoria de Piaget. Porto Alegre: Artes Médicas, 1985.
- LINDBERG, D. C. Roger Bacon's theory of the rainbow: progress or regress? **Isis**, Chicago, vol. 57, nº 2, p. 235-248, 1966.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F.S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Ed. Moraes, 1982.
- NEWTON, I. Nova Teoria sobre Luz e Cores. Tradução: SILVA, C. C. & MARTINS, R. A. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 18, nº 4, p. 313- 327, dez. 1996.
- NEWTON, I. **Óptica**. Tradução: ASSIS, André Koch Torres. São Paulo: EDUSP, 2002.
- NOVAK, J.; GOWIN, D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.
- OCKENDEN, R. E. Marco Antonio de Dominis and his explanation of the rainbow. **Isis**, Chicago, vol. 26, nº 1, p. 40-49, dezembro, 1936.
- PIAGET, J.; GARCÍA, R. **Psicogénesis e história de la ciencia**. México: Siglo Veintiuno Editores, 1989.

SAYILI, A. M. Al Qarafi and his explanation of the rainbow. **Isis**, Chicago, vol. 32, n° 1, p. 16-26, julho, 1940.